

Optimalizace vn sítě na VH TŽ Třinec, a.s.

Optimization of MV net in VH TŽ Třinec, a.s.

Bc. Filip Čech

Diplomová práce

Vedoucí práce: doc. Dr. Ing. Jiří Gurecký

Ostrava, 2021

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracoval samostatně. Uvedl jsem všechny literární prameny a publikace, ze kterých jsem čerpal.

Poděkování

Chtěl bych tímto poděkovat svému vedoucímu diplomové práce doc. Dr. Ing. Jiřímu Gureckému za jeho odborné rady, které byly využity při vypracování této diplomové práce. Dále bych chtěl poděkovat svým rodičům, kteří mě během celého mého studia podporovali.

Abstrakt

V této diplomové práci se řeší návrh řízené kompenzace pro rozvodnu R2, která se nachází v Třineckých železárnách. Teoretická část nejdříve poskytuje informace o teoretickém rozboru napájení v průmyslovém rozvodu. Dále se tato část zabývá popsáním vysokonapěťové sítě Energetiky Třinec a válcovny předvalků a hrubých profilů. Jsou zde vysvětleny také jednotlivé možnosti kompenzace pro rozvodnu R2, která slouží pro napájení již zmíněné válcovny předvalků a hrubých profilů. Praktická část se nejdříve zabývá výkonovými poměry na rozvodně R2. Pracuje se zde již s naměřenými hodnotami, které tvoří základní podklady pro navrženou kompenzaci. V této části se dále řeší samotný návrh kompenzace, který se realizuje jako stupňovitě řízené kompenzační zařízení. Následně se zde provádí dimenzování jednotlivých komponentů pro daný návrh jako například kompenzační kondenzátory, hradící tlumivky, vakuové stykače, pojistky atd. Závěr praktické části se věnuje závěrečnému ekonomickému a technickému zhodnocení vytvořeného návrhu kompenzace.

Klíčová slova

Kompenzace; jalový výkon; činný výkon; kompenzační kondenzátory; účinník; hradící tlumivky; průmyslový rozvod; kompenzační zařízení.

Abstract

In this diploma thesis is solved with design of controlled compensation for substation R2, which is located in Třinecké železářny. The theoretical part first provides information on the theoretical analysis of power supply in industrial distribution. Further this part deals with the description of the high-voltage network of Energetika Třinec and the rolling-mill semi-finished products and coarse profiles. They are also explained here individual compensation options for substation R2, which serves to power the already mentioned rolling-mill semi-finished products and coarse profiles. The practical part first deals with the power ratios on the substation R2. It works here with measured values, which form the basic basis for the proposed compensation. In this part is further solved the itself proposal compensation, which is realized as switching power factor correction system. Subsequently is performed here dimensioning the individual components for a given proposal such as compensation capacitors, detuned reactors, vacuum contactors, fuses etc. The conclusion of the practical part is devoted to the final economic and technical evaluation of the created compensation proposal.

Key words

Compensation; reactive power; active power; compensation capacitors; power factor; detuned reactors; industrial distribution; compensation device.

Obsah

Obsah	6
Seznam použitých symbolů a zkratk.....	9
Úvod.....	11
1 Teoretický rozbor napájení rozvodů v průmyslu	13
1.1 Koncepce průmyslových rozvodů	13
1.1.1 Rozmístění transformoven v průmyslové síti	13
1.1.2 Výběr transformátorů a rozvaděčů v průmyslovém rozvodu	14
1.1.3 Způsoby ukládání kabelů	14
1.2 Modernizace rozvodu v průmyslu	14
1.2.1 Rozšíření průmyslového podniku	14
1.3 Hlavní požadavky na rozvody v průmyslu	15
1.3.1 Bezpečnost lidí a elektrických zařízení	15
1.3.2 Provozní spolehlivost průmyslového rozvodu.....	15
1.3.3 Přehlednost	15
1.3.4 Hospodárnost průmyslového rozvodu	16
1.4 Základní typy elektrických průmyslových rozvodů.....	16
1.4.1 Paprsková síť.....	16
1.4.2 Průběžná síť	16
1.4.3 Okružní síť.....	17
1.4.4 Hřebenová síť	18
1.4.5 Mřížová síť	18
1.4.6 Dvojprásková síť	19
1.5 Elektrické stanice	19
1.5.1 Rozdělení jednotlivých druhů elektrických stanic	20
1.5.1.1 Spínací stanice	20
1.5.1.2 Transformovny	20
1.5.1.3 Měnírny	21
1.5.1.4 Kompenzační stanice.....	22
1.5.2 Silnoprúdová rozvodná zařízení	23
1.5.2.1 Rozdělení silnoprúdových rozvodných zařízení	24
1.5.3 Schémata zapojení elektrických stanic.....	24
1.5.3.1 Schémata elektrických stanic dle druhů použitých systémů přípojníc.....	25
1.6 Kompenzace jalové energie v průmyslovém rozvodu.....	30

1.6.1	Výhody kompenzace jalové energie	31
1.6.2	Typy kompenzačních zařízení	31
1.6.2.1	Statické kompenzační prostředky	32
1.6.2.2	Rotační kompenzační prostředky	32
1.6.2.3	Aktivní filtry	33
1.6.3	Možnosti zapojení kompenzačního zařízení do elektrické sítě	34
1.6.3.1	Individuální kompenzace jalového výkonu	35
1.6.3.2	Skupinová kompenzace jalového výkonu	35
1.6.3.3	Centrální kompenzace jalového výkonu	36
2	Popis elektrické sítě VN Energetiky Třinec, a.s. a válcovny předvalků a hrubých profilů v Třineckých železárnách a.s.	37
2.1	Popis hlavních rozvodů	37
2.1.1	Rozvodna TII s převodem napětí 110/22 kV	37
2.1.2	Rozvodna TIII s převodem napětí 110/6 kV	37
2.1.3	Rozvodna TIV s převodem napětí 110/22/6 kV	37
2.1.4	Rozvodna RAB s převodem napětí 22/6 kV	38
2.1.5	Rozvodna R2 6 kV	38
3	Možnosti optimalizace rozvodů VH - kompenzace	39
3.1	Druhy kompenzačních prostředků pro rozvodnu R2	39
3.1.1	Statické kondenzátory	39
3.1.2	Chráněná kompenzační sekce	40
3.1.3	Výkonové kompenzační filtry	41
3.2	Možnosti řízení kompenzačního výkonu pro rozvodnu R2	42
3.2.1	Stupňovitě ovládané kompenzační prostředky	42
3.2.1.1	Kontaktní kompenzátory	43
3.2.1.2	Bezkontaktní kompenzátory	43
3.2.2	Plynule ovládané kompenzační prostředky	43
4	Zjištění výkonových poměrů na rozvodně R2	46
4.1	Popis měřicího přístroje	46
4.2	Kompatibilní úrovně pro střídavé sítě dle normy ČSN 61000-2-4	47
4.2.1	Třídy elektromagnetického prostředí	47
4.2.2	Posuzovaná charakteristika	48
4.3	Výsledky naměřených hodnot na rozvodně R2	48
4.3.1	Naměřené hodnoty na přívodní kobce č.2	49
4.3.1.1	Změřené hodnoty bez kompenzace	49

4.3.1.2	Změřené hodnoty s připojenou kompenzací.....	52
4.3.2	Celkové změřené hodnoty na rozvodně R2.....	55
4.3.2.1	Celkové naměřené hodnoty bez připojené kompenzace	55
4.3.2.2	Celkové naměřené hodnoty s připojenou kompenzací	57
5	Návrh kompenzace.....	61
5.1	Výběr vhodné varianty kompenzace	61
5.1.1	Stupňovitě řízená hrazená kompenzace s napětím 6,3 kV.....	62
5.2	Charakteristické parametry regulátoru ovlivňující navrženou kompenzací ..	62
5.2.1	Popis určitých parametrů regulátoru NOVAR 1414	63
5.3	Návrh kompenzačních stupňů bez hradicích tlumivek.....	64
5.3.1	Určení kompenzačního výkonu u nejmenšího spínaného stupně.....	64
5.3.2	Návrh výkonu u zbylých kompenzačních stupňů	66
5.4	Návrh hradicích tlumivek do jednotlivých kompenzačních stupňů	68
5.4.1	Určení jednotlivých parametrů hrazené kompenzační sekce pro první stupeň s kompenzačním výkonem Q_{CN} o hodnotě 250 kvar.....	69
5.4.2	Určení jednotlivých parametrů hrazené kompenzační sekce pro ostatní stupně	70
5.4.3	Výsledné posouzení navrhnutých kompenzačních sekcí.....	71
5.5	Místo připojení kompenzačního rozvaděče	73
5.6	Jednotlivé komponenty navrhnutého kompenzátoru	73
5.6.1	Kompenzační kondenzátory VN	73
5.6.2	Hradicí tlumivky VN	74
5.6.3	Stykače VN.....	75
5.6.4	Pojistky VN.....	76
5.6.5	Regulátor jalového výkonu	77
5.6.6	Rychlovybíjecí zařízení.....	78
5.6.7	Kompenzační rozvaděč VN	78
5.6.7.1	Výkonový vypínač a ochrana kompenzačního rozvaděče VN.....	80
5.6.8	Další ochranné prostředky	80
6	Závěrečné ekonomické a technické zhodnocení	81
	Závěr	82
	Použitá literatura.....	84
	Seznam obrázku	87
	Seznam tabulek	88
	Seznam příloh.....	88

Seznam použitých symbolů a zkratek

Symbol	Jednotka	Význam symbolu
C	F	Kapacita kompenzačního kondenzátoru
C_Y	F	Kapacita kondenzátoru ve spojení do hvězdy
C_{Δ}	F	Kapacita kondenzátoru ve spojení do trojúhelníku
$\cos\varphi$	-	Účíník
$\cos\varphi_K$	-	Účíník po kompenzaci
C/kmin	var	Kompenzační výkon nejmenšího stupně
f	Hz	Frekvence
f_n	Hz	Frekvence harmonické
f_r	Hz	Frekvence při rezonanci
HDO	-	Hromadné dálkové ovládání
I	A	Statorový proud
I_b	A	Budící proud
I_C	A	Proud vyskytující se na kompenzačním kondenzátoru
I_{ξ}	A	Činná složka proudu
I_{jind}	A	Jalová induktivní složka proudu
I_{jkap}	A	Jalová kapacitní složka proudu
I_K	A	Kompenzační proud
$I_{K''}$	A	Zkratový proud
I_L	A	Induktivní proud vyskytující se na tlumivce
I_{LC}	A	Proud hrazené kompenzační sekce
I_{max}	A	Dimenzovaný proud
I_N	A	Jmenovitý proud
KB	-	Kondenzátorová baterie
KZ	-	Kompenzační zařízení
L	H	Indukčnost
L_1	-	1. fáze
L_2	-	2. fáze
L_3	-	3. fáze
n	-	Řád harmonické
n_r	-	Řád harmonické během rezonance
N	-	Počet stupňů
NN	-	Nízké napětí
O	-	Odpojovač
p	-	Činitel zatlumení
P	W	Činný výkon
PF	-	Opravný účíník
P_s	W	Ztráty kondenzátoru od všech harmonických

P_Z	W	Ztráty kondenzátoru při sinusovém průběhu
Q	var	Jalový výkon
Q_C	var	Jalový kapacitní výkon
Q_{CN}	var	Kompenzační výkon kondenzátorové baterie
Q_{C1}	var	Jalový kapacitní výkon jednoho stupně
Q_K	var	Kompenzační výkon
Q_L	var	Jalový induktivní výkon
Q_{LC}	var	Kompenzační výkon hrazené kompenzační sekce
R	Ω	Činný odpor
R_v	Ω	Vybíjecí odpor
S	VA	Zdánlivý výkon
S_K	VA	Zdánlivý výkon po kompenzaci
t	s	Čas vybíjení kondenzátoru
$\operatorname{tg}\varphi$	-	Ztrátový činitel kompenzačního kondenzátoru
T	-	Transformátor
TG	-	Generátor
THD	-	Celkové harmonické zkreslení
$TRMS$	-	Skutečné efektivní hodnoty
U	V	Elektrické napětí
U_C	V	Napětí vyskytující se na kompenzačním kondenzátoru
U_{CN}	V	Jmenovité napětí na kondenzátoru 440 V
U_d	V	Dovolené dotykové napětí
U_f	V	Fázové napětí
U_n	V	Jmenovité napětí
U_s	V	Síťové napětí
U_z	V	Zbytkové napětí na kompenzačním kondenzátoru
V_N	-	Vysoké napětí
V_{VN}	-	Velmi vysoké napětí
V_h	-	Výkonový vypínač
V_p	-	Spínač pomocné přípojnice
W	-	Přípojnice
X_L	Ω	Induktivní reaktance
X_C	Ω	Kapacitní reaktance
X_{LC}	Ω	Reaktance chráněné kompenzační sekce
Z	Ω	Impedance
Z_{VN}	-	Zvlášť vysoké napětí
α	$^\circ$	Úhel zpoždění
φ	$^\circ$	Úhel
ω	s^{-1}	Úhlový kmitočet
ω_r	s^{-1}	Kmitočet při rezonanci
ΔQ	var	Deficit jalového výkonu

Úvod

V současné době má téměř každý velkoodběratel elektrické energie ve své síti realizovanou určitou kompenzaci jalového výkonu. Je to hlavně z toho důvodu, že při nedodržení požadovaného rozsahu účinníku, který činí 0,95 až 1, dochází k značným finančním přírůžkám ze strany dodavatele elektrické energie, které musí následně odběratel zaplatit jako doplatek k výsledné ceně za odebíranou elektrickou energii. Tyto jednotlivé cenové přírůžky za nedodržení účinníku se stanovily podle Energetického regulačního úřadu. Dalším důvodem, proč je nutné kompenzovat jalový výkon, jsou zvýšené ztráty na vedení. Protože nelze jalový výkon v elektrické síti nijak vhodně využít a pouze tedy dochází k jeho přenosu mezi elektrickým zdrojem a zátěží, tak nastává kvůli němu zbytečné zatěžování transformátorů, generátorů a samotné elektrické sítě. Tohle zatěžování má za následek zvýšené ztráty na vedení, jenž se v podobě tepla uvolňují do okolního prostředí. Z toho důvodu je potřeba, aby se jalová energie vhodně vykompenzovala, protože se tím zajistí, že se v síti sníží ztráty na co nejmenší možnou hodnotu. Tyto dva zmíněné důvody jsou hlavní příčinou, proč si průmyslové podniky pořizují kompenzační zařízení.

Diplomová práce je členěna do šesti základních kapitol. První kapitola poskytuje informace o teoretickém rozboru napájení v průmyslovém rozvodu. Nejdříve je zde popsána obecně průmyslová síť, kde se vysvětluje její možná realizace a také možnosti její modernizace. Následně jsou zde uvedeny základní požadavky na průmyslový rozvod. Dále tu jsou popsány a zobrazeny jednotlivé druhy průmyslových rozvodů jako kupříkladu paprsková síť, průběžná síť, okružní síť atd. Také je v této kapitole vysvětlena funkce elektrické stanice v elektrizační soustavě. Jsou zde uvedeny její dílčí části a také její rozdělení na jednotlivé typy. Dále se zde nacházejí vykreslená schémata zmíněných elektrických stanic, kde u každého schématu je vysvětlení jeho funkce. Na závěr této kapitoly lze najít informace o kompenzaci jalového výkonu.

Druhá kapitola se zabývá popisáním vysokonapěťové sítě Energetiky Třinec a válcovny předvalků a hrubých profilů, která se vyskytuje v Třineckých železárnách a.s. Jsou zde jednotlivě objasněny hlavní rozvodny, jenž se v daných železárnách nacházejí. Pro tuto diplomovou práci je nejdůležitější rozvodna R2, protože se jedná o rozvodnu, kde se požaduje vytvoření nového návrhu řízené kompenzace. Z toho důvodu je popis této rozvodny podrobnější.

Ve třetí kapitole jsou popsány možnosti kompenzace pro danou rozvodnu R2. Nejdříve se řeší výběr nejvhodnějšího kompenzačního prostředku pro zmíněnou rozvodnu. Jako vyhovující je zvolen statický kompenzátor, a proto se dále v této kapitole řeší jeho jednotlivé typy. Podrobně se popisuje statický kondenzátor, chráněná kompenzační sekce a kompenzační filtr. Dále se v této části uvádí možnosti řízení kompenzačního výkonu. Objasňuje se zde stupňovitě ovládané kompenzační zařízení a plynulé ovládané kompenzační zařízení.

Čtvrtá kapitola se zabývá výkonovými poměry na rozvodně R2. Pracuje se s již naměřenými hodnotami. Jedná se o kapitolu, jenž je velmi důležitá z hlediska toho, že se zde stanoví potřebné parametry sítě, které budou následně tvořit základní podklady pro vhodný návrh kompenzace. Jedná se například o činný výkon, jalový výkon, zdánlivý výkon, účinník apod. Ze zmíněných naměřených hodnot jsou následně sestaveny výsledné časové průběhy.

V páté kapitole se řeší samotný návrh kompenzace. Jako první se zde vybírá vhodná varianta kompenzace, která pro rozvodnu R2 bude nejvíce vyhovující. Po zvážení se rozhodlo, že samotný návrh bude proveden jako stupňovitě řízená hrazená kompenzace. Následně se zde zjišťují kompenzační výkony pro jednotlivé spínané stupně. V závěru této části jsou vybírány vhodné komponenty pro navržené kompenzační zařízení jako například kompenzační kondenzátory, hradící tlumivky atd.

Poslední kapitola se věnuje závěrečnému ekonomickému a technickému zhodnocení vytvořeného návrhu kompenzace. Podstatnou informací je zde celková investiční cena za navržený kompenzační rozvaděč.

Cílem této diplomové práce je navrhnout novou řízenou kompenzaci pro rozvodnu R2, která zajistí zlepšenou hodnotu účinníku na požadovanou velikost.

1 Teoretický rozbor napájení rozvodů v průmyslu

1.1 Koncepce průmyslových rozvodů

V České republice patří průmyslové podniky k největším odběratelům elektrické energie. Proto je velmi důležité při návrhu jejich průmyslového rozvodu volit co nejvhodnější řešení tak, aby výběr a uspořádání zvolených rozvodných systémů elektrické energie byl co nejoptimálnější k spolehlivému a málo nákladnému provozu. Aby se vybralo vhodné řešení průmyslového rozvodu, tak je třeba brát velký ohled na rozlohu a druh průmyslového podniku, na velikost a množství použitých spotřebičů v daném závodě, a také na jednotlivé požadavky během provozu. [2]

Většinou se průmyslový rozvod skládá z těchto částí:

- Vstupní stanice, což může být například transformovna či spínací stanice.
- Napájecí rozvod spolu s podružnými stanicemi jako například rozvodna, rozvaděč nebo transformovna.
- Provozní rozvody spolu s rozvodnými zařízeními (rozvaděče a rozvodny).
- Elektrické zařízení, které jsou nutné pro ovládání elektrického rozvodu. [2]

Průmyslový podnik se připojuje k elektrizační soustavě pomocí elektrické stanice. Tato stanice se dále rozděluje na různé druhy podle jejich funkce. Pro rozvod elektrické energie do několika větví o stejném napětí se používá spínací stanice. Pro přeměnu elektrické energie o napětí U_1 na jinou hodnotu napětí U_2 při nezměněné frekvenci se využívá transformovna. Jestliže je nutné přeměnit proud v průmyslové síti na odlišnou soustavu nebo je potřebné obměnit jeho kmitočet, tak se užívá zařízení, které se nazývá měnárna. Podrobněji budou tyto stanice popsány v práci níže. [3]

Každý průmyslový podnik má všechny rozvody napájeny z veřejného rozvodného systému. Vstupní napájecí napětí na přípojce podniku závisí na množství odebíraného výkonu. Proto se jednotlivé průmyslové závody připojují na síť o různých napěťových hladinách. [2] [3]

1.1.1 Rozmístění transformoven v průmyslové síti

Menší průmyslové podniky jsou zapojeny na síť s hladinou napětí VN. Tyto podniky obsahují jenom jedinou transformovnu 22 kV/NN a jsou většinou napájeny dvěma transformátory o výkonu 1 MVA. Střední průmyslové podniky, u kterých se příkon pohybuje v rozmezí 2 až 10 MVA, se připojují na síť VN. U těchto průmyslových závodů je většinou vstupní transformovna 22/6 kV sjednocena spolu s hlavní transformovnou 6 kV/NN. Velké průmyslové podniky, jenž mají příkon s hodnotou nad 10 MVA, mají vždy vstupní transformovnu 110/22 kV situovanou tam, kde se nachází nejpříjemnější místo pro zapojení do sítě. Do této skupiny patří také Třinecké železářny. V daném průmyslovém podniku se nachází také hlavní rozvodny 22/6 kV, které jsou napájeny z výše zmíněné vstupní transformovny. Výskyt těchto rozvodů je vždy tam, kde je největší spotřeba elektrické energie. Na konci jsou podružné transformovny 6 kV/NN, které se většinou situují na takovém místě, aby byly co nejbližší k elektrickým spotřebičům. Podružné transformovny 6kV/NN jsou zapojeny na okružní kabelový rozvod o hladině vysokého napětí a následně z podružných rozvodů je pak možnost dodávat elektrickou energii mřížovému či paprskovému průmyslovému rozvodu. [1]

1.1.2 Výběr transformátorů a rozvaděčů v průmyslovém rozvodu

U olejových transformátorů s převodem napětí 22 kV/NN se požaduje, aby se vyskytovaly v separovaných transformátorových kobkách mimo provozní činnost podniku. Bezolejové transformátory 6 kV/NN se mohou nacházet přímo v provozu nebo mohou být na střeše daného závodu. Díky tomu se splní požadavek na transformovny, který vyžaduje, aby měly zajištěnou dodávku elektrické energie co nejbližší k elektrickým spotřebičům. [1]

Jakýkoliv transformátor v průmyslovém rozvodu obsahuje svůj vlastní hlavní rozvaděč nízkého napětí, který má za úkol zabezpečit dodávku elektrické energie pro určitou část přípojníc. Nejčastější používaný typ je buď panelový rozvaděč nebo skříňový rozvaděč. Hlavní rozvaděč nízkého napětí se nachází v elektrické stanici, která nese název transformovna. Jestliže je potřeba napájet danou část přípojníc větším transformátorem, tak se používá tzv. kobkový rozvaděč. Hlavní rozvaděče pak dále napájí podružné rozvaděče, které se nacházejí přímo v provozu podniku a mají za úkol dodat elektrickou energii pro jednotlivé elektrické stroje. [1]

1.1.3 Způsoby ukládání kabelů

Kabely se ukládají podle normy, která se jmenuje ČSN 33 2000-5-52. Kabely se pokládají většinou do kanálů, kabelových roštů nebo do provedených výkopů. Dále je potřeba ukládat kabely do trub či tvárnic, aby byly ochráněny proti mechanickým poruchám. Jestliže nastane případ, kdy se křížují kabely o různých napěťových hladinách NN a VN, tak je nutné uložit vysokonapěťový kabel vždy pod kabel nízkonapěťový. Další požadavek při křížování vysokonapěťových a nízkonapěťových kabelů se týká ohledně toho, aby vzdálenost mezi těmito kabely byla minimálně 30 cm. [1]

1.2 Modernizace rozvodu v průmyslu

Při modernizaci průmyslového rozvodu se vždy staré a nespolehlivé elektrické zařízení vyměňují za nové a bezpečné. V případě, že se zpracovává nový návrh kvůli modernizaci průmyslového rozvodu, tak se daný rozvod bere vždy tak, jako by se jednalo o úplně novou stavbu. Během modernizování se kladou určité požadavky, které je nutné splnit. Jedná se hlavně o zvýšení hospodárnosti při provozu, nárůstu spolehlivosti, zmenšení rozměrů a automatizovaného ovládání.

Aby se zlepšila hospodárnost průmyslového rozvodu, tak se provádí buď zvětšení napětí v rozvodu, což má za následek zmenšení ztrát nebo se realizuje ještě jedná možnost, při které se vloží transformátor do prostoru s největší spotřebou elektrické energie. Průmyslový rozvod o hladině NN je většinou připojen k transformátoru s převodem napětí 6 kV/NN. Jestliže jsou ale zkratové výkony větší než 400 MVA, tak se připojuje daný rozvod k síti 22 kV. [1]

1.2.1 Rozšíření průmyslového podniku

Průmyslový podnik se většinou rozšiřuje z toho důvodu, že má nedostatečný instalovaný příkon. Při potřebě zvýšení daného příkonu se přidává do rozvodu úplně nový transformátor. Jako nejúspornější metodou se jeví ten způsob, při kterém se k původnímu hlavnímu transformátoru přidá další nový transformátor. Díky tomu se rozšíří daný průmyslový podnik o zvětšený potřebný instalovaný příkon, ale stále bude vykazovat jednak vysoký úbytek napětí a jednak velké ztráty, čímž bude jeho provoz pořád nevhodný. Kvůli tomu se pro rozšíření podniku radši používá tzv. metoda

předsunutého transformátoru. Při této metodě se umístí transformátor do místa s největší spotřebou elektrické energie. [1]

1.3 Hlavní požadavky na rozvody v průmyslu

Nejdůležitější požadavky pro průmyslové rozvody jsou rozděleny do jednotlivých podkapitol, které jsou popsány níže.

1.3.1 Bezpečnost lidí a elektrických zařízení

Bezpečnost je velmi důležitý požadavek pro rozvod v průmyslu. Celková elektrická instalace, což jsou všechny elektrické zařízení a spotřebiče, je vždy realizována takovým způsobem, aby nedocházelo k náhodnému nebezpečnému dotyku na elektrických zařízeních, vodičích či jiných živých částech, které se nacházejí v průmyslovém rozvodu. Díky tomu se zamezí možnost jakéhokoliv poranění elektrickým proudem, jenž by mohlo ohrozit zdraví lidí, kteří se v tom momentě vyskytovali v blízkosti elektrických zařízení. Také je třeba zajistit u elektrických zařízení, aby při jejich provozu nevznikl požár nebo výbuch. [5]

1.3.2 Provozní spolehlivost průmyslového rozvodu

U průmyslových rozvodů se hlavně požaduje, aby se elektrická energie dostala od elektrických zdrojů, což může být například přípojka k dílčím elektrickým spotřebičům, které poté přeměňují přivedenou elektrickou energii na odlišný typ energie. Tohle kritérium lze chápat tak, že se přenesení elektrické energie o takovém požadovaném výkonu a kvalitě, aby mohly dané elektrické spotřebiče správně fungovat podle požadovaných nároků na jejich provoz. Proto je také potřeba tomuto hledisku přizpůsobit i realizaci průmyslového rozvodu. V některých situacích je zapotřebí provést silnoproudý rozvod i se specifickými požadavky. Jedná se například o případ, kdy je potřeba mít také rezervní nezávislý elektrický zdroj, který pomůže v případě potřeby zajistit dodávku elektrické energie hlavním spotřebičům. Z důvodu tohoto požadavku se u průmyslového rozvodu zavádí tzv. stupně důležitosti spotřeby, které jsou podle významů jednotlivých výroben rozděleny do tří stupňů. [2] [5]

1.3.3 Přehlednost

Tohle kritérium má uplatnění zejména v těch průmyslových rozvodných zařízeních, ve kterých je velký počet elektrických přístrojů a zařízení koncentrovaných na jednom místě. Jedná se například o rozvodny a elektrické stanice. V případě vzniku poruchy, lze pak pomocí uspořádaného rozvodného zařízení rychle zjistit, kde se daná porucha nachází a odstranit ji dříve, než by mohla napáchat větší škody. [5] [10] [14]

V důsledku stálé modernizace průmyslových rozvodných zařízení dochází k tomu, že se i jejich rozměry postupně zmenšují, což má za následek, že se zhoršuje souhrnný přehled o situaci jednotlivých rozvodných zařízení v daném průmyslu. Z důvodu toho se začalo přecházet na vizuální a zvukové signalizační součástky pro získání většího přehledu. Také pomáhá k lepšímu přehledu mít k dispozici schéma elektrické stanice a displej počítače, kde by se po rozkliknutí na zvolené elektrické zařízení ukázaly jeho důležité údaje. [5] [10]

1.3.4 Hospodárnost průmyslového rozvodu

Během projektování průmyslového rozvodu je potřeba, aby elektrické přístroje, elektrické zdroje a průřezy souhlasily s danou úrovní zatížení použitých spotřebičů. Hospodárnost průmyslového rozvodu lze chápat jako snahu, co nejlépe využít průřezy kabelů a výkony elektrických strojů a přístrojů. Proto není rozumné projektovat vodiče se značnou rezervou v zatížení, protože by pak nebyly úsporně využívány a tím by se i jejich pořizovací náklady nesmyslně zvýšily. To samé platí při projektování elektrických spotřebičů, kde není také vhodné mít z finančních důvodů značnou rezervu ve výkonu. [5]

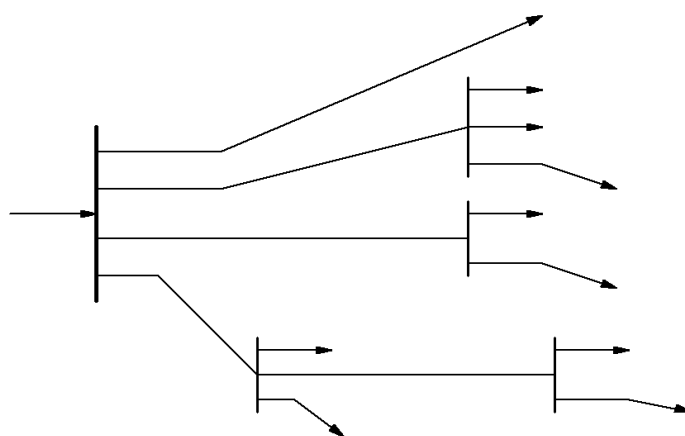
Dále se hospodárnost průmyslového rozvodu zhorší také při odebírání elektrické energie s nízkou hodnotou účinníku. Kvůli tomu se totiž zhorší účinnost distribuce, což má za následek zvýšené ztráty přenosu. Z toho důvodu jsou kladeny požadavky také na kompenzaci účinníku. V případě nedodržení předepsané hodnoty účinníku dochází k finančním přírůžkám ze strany dodavatele elektrické energie. [5]

1.4 Základní typy elektrických průmyslových rozvodů

Průmyslové rozvody se odlišují buď podle množství míst, jenž je potřeba napájet nebo dle způsobu, kterým se budou dané místa napájet. Tyto typy sítě, které jsou popsány níže, patří mezi hlavní stavební prvky průmyslového rozvodu. [5]

1.4.1 Paprsková síť

Jedná se o druh sítě, který patří k nejlevnějším a nejjednodušším typům průmyslového rozvodu. Využívá se hlavně u těch míst, ve kterých se nenacházejí spotřebiče prvního stupně důležitosti spotřeby elektrické energie, což tedy znamená, že u této paprskové sítě nejsou velké požadavky na její spolehlivost. Užívá se tedy v malých průmyslových podnicích a v distribučních sítích NN. Paprsková síť má hlavně nevýhodu v tom, že v případě poškození jakéhokoli paprsku dochází k tomu, že se vyřadí všechny elektrické spotřebiče, které byly připojeny na daný paprsek. Schéma paprskové sítě lze vidět na obrázku č. 1. [5]

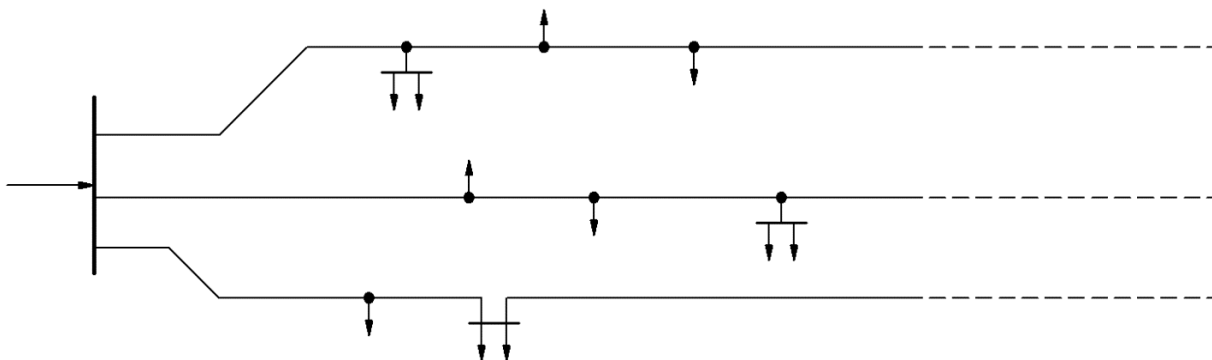


Obrázek 1: Schéma paprskové sítě. [5]

1.4.2 Průběžná síť

Průběžná síť je většinou používána k osvětlování pozemních komunikací, dále také k napájení velkých průmyslových výroben obsahující malé elektrické spotřebiče nebo k osvětlování obrovských

ploch. Pro tuto síť je charakteristické mít dlouhé vedení, z kterého jsou vyvedeny odbočky k jednotlivým elektrickým spotřebičům. Z důvodu toho, že délka vedení může dosáhnout značné délky, tak je nutné provádět kontrolu úbytku napětí na vzdálenosti elektrického vedení. Spolehlivost je u průběžné sítě podobná jako u paprskové sítě, což znamená že není moc velká. Schéma průběžné sítě je znázorněné na obrázku č. 2. [5]

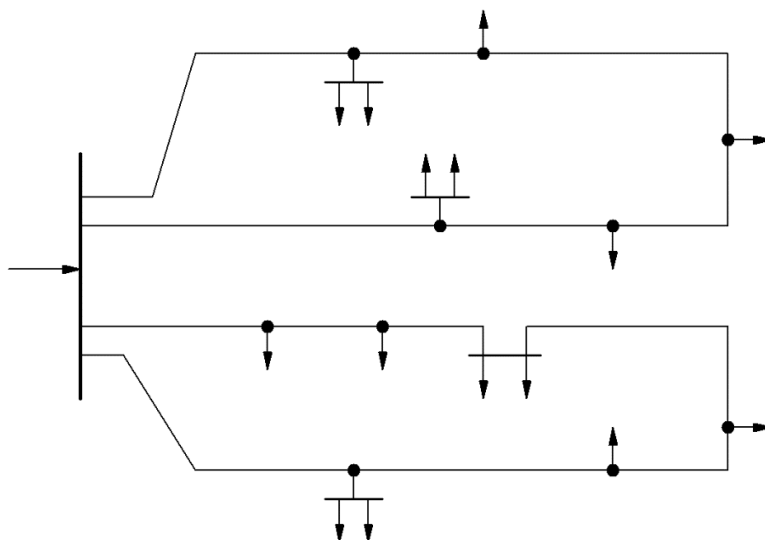


Obrázek 2: Schéma průběžné sítě. [5]

1.4.3 Okružní síť

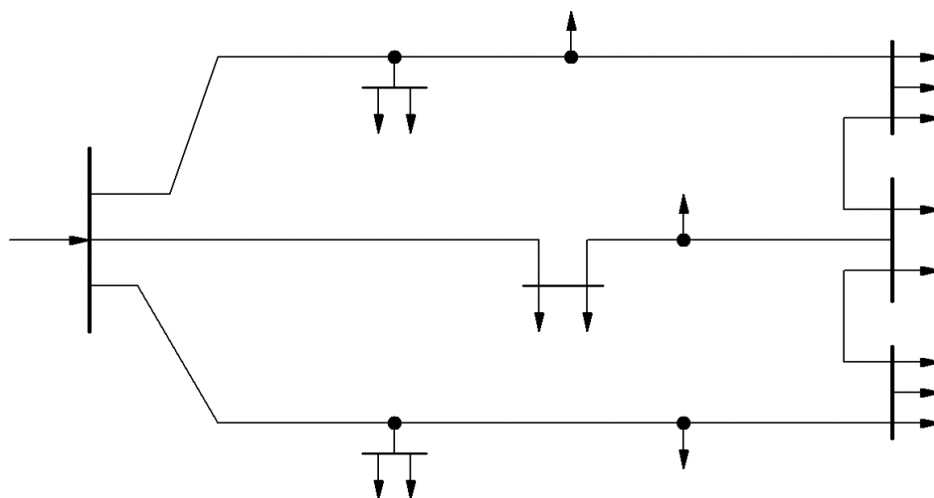
Jedná se o síť, která nese název okružní. Je to z toho důvodu, že má svůj rozvod realizovaný do tvaru okruhu, jenž je zcela uzavřený. Z něho se pak napájí dané paprskové odbočky až k jednotlivým elektrickým spotřebičům. Když nastane porucha v jakémkoliv místě okruhu, tak nastává rozpojení poškozeného úseku. Dále je pak zůstatek průmyslového rozvodu provozován ve tvaru dvou paprsků. [5]

Hlavní předností této sítě je v tom, že umožňuje zajistit dodávku elektrické energie z obou stran všem spotřebičům, jenž se nacházejí v daném okruhu. Díky tomu stoupá provozní spolehlivost. Okružní síť se používá hlavně ve velkých průmyslových firmách, ve kterých se nacházejí energeticky náročnější elektrické spotřebiče. Takovou síť je možno vidět na obrázku č. 3. [5]



Obrázek 3: Schéma okružní sítě. [5]

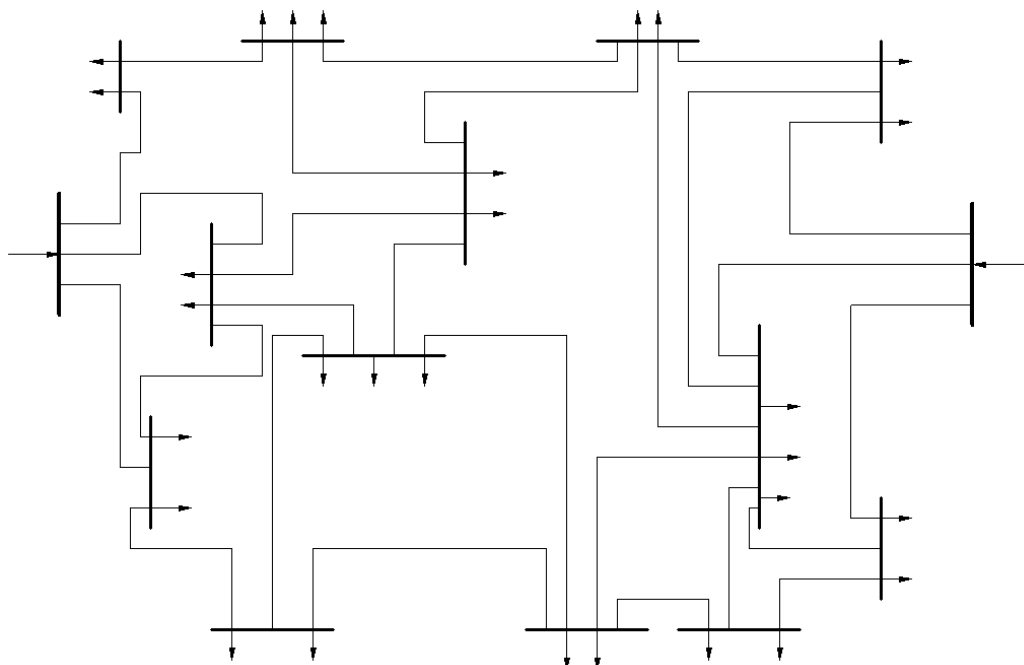
1.4.4 Hřebenová síť



Obrázek 4: Schéma hřebenové sítě. [5]

Tato síť je zobrazena na obrázku č. 4. Jedná se o průmyslový rozvod, který je realizován určitým počtem paprsků, jenž jsou v závěru rozvodu vzájemně spojeny v oblastí koncentrace spotřeby elektrické energie. Jednotlivé paprsky také mohou obsahovat odbočky, které zajišťují dodávku elektrické energie pro spotřebiče, jenž se nacházejí blíže. Vlastnostmi se hřebenová síť velmi podobá okružní síti, a proto se také většinou používá ve velkých průmyslových firmách. [5]

1.4.5 Mřížová síť



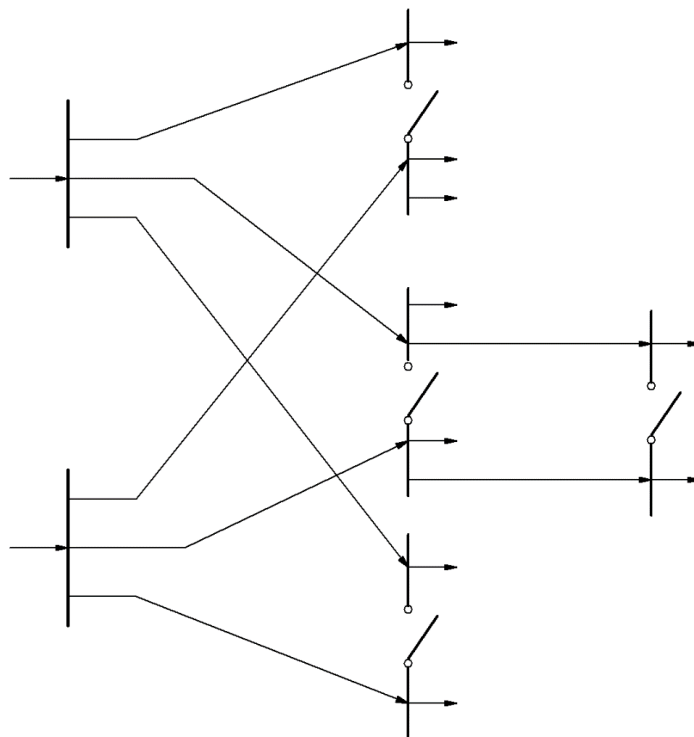
Obrázek 5: Schéma mřížové sítě. [5]

Tato síť obsahuje vždy nejméně dvě napájecí oblasti s důležitými rozvaděči. Mezi nimi je pak hojný počet sítí s podružnými rozvaděči, které jsou navzájem propojeny. A proto vznikne taková síť, kde každý podružný rozvaděč má zajištěnou dodávku elektrické energie minimálně ze dvou stran, ale

může být jich i více. Z toho důvodu se tato síť používá pro hustě obydlené městské oblasti nebo pro průmyslové podniky s velkou plochou. Jeho hlavní výhoda spočívá ve vysoké spolehlivosti, protože v případě poruchy některého úseku v rozvodu má vždy každý podružný rozvaděč zajištěné napájení z více stran. Tím ale vzniká jejich zásadní nevýhoda, a to jsou velké investiční náklady. Tento rozvod lze vidět na obrázku č. 5. [5]

1.4.6 Dvojpaprsková síť

Jedná se o průmyslový rozvod, který je realizován v zásadě propojením dvou sítí paprskového charakteru. Obě tyto sítě se navzájem zálohují v případě výskytu poruchy. U tohoto rozvodu je dále nutné, aby podružné rozvaděče byly podélně odpojeny. Je to z toho důvodu, aby nenastal paralelní chod transformátorů během provozu obou napájecích míst. Spojení podružných rozvaděčů nastane pouze v tom případě, když jeden z napaječů bude mít výpadek a tím tedy nebude schopen zajistit potřebnou dodávku elektrické energie. Tato síť se hlavně používá pro důležité elektrické spotřebiče, jenž patří do prvního stupně důležitosti spotřeby. Užívá se ve velkých průmyslových podnicích, ve kterých se nacházejí hlavní odběry. Na obrázku č. 6 je znázorněna tato síť. [5]



Obrázek 6: Schéma dvojpaprskové sítě. [5]

1.5 Elektrické stanice

Elektrické stanice se nacházejí v elektrizační soustavě, kde tvoří celistvé zařízení uzlu. To znamená, že pomocí těchto zařízení jsou spojeny sítě o odlišných napěťových a proudových hladinách. Pak také díky elektrickým stanicím mají tyto jednotlivé sítě na sebe vzájemný vliv. Tyto zařízení musí být vloženy do soustavy optimálně tak, aby poskytovaly různé transfigurace soustavy. Proto jsou elektrické stanice pro elektrizační soustavu velmi důležitou součástí. [3] [4]

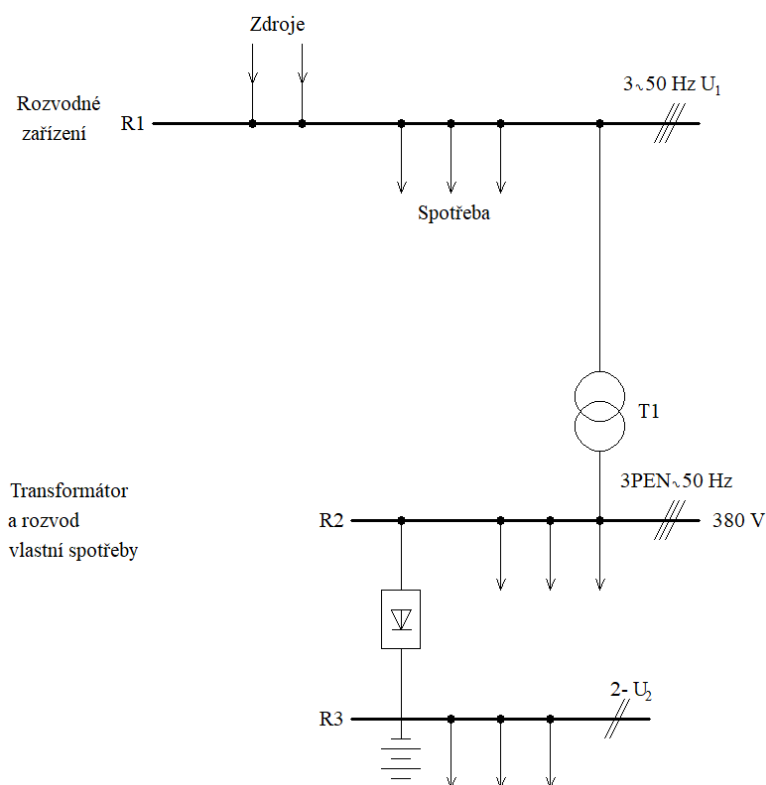
Všechny elektrické stanice mají svůj význam v elektrizační soustavě. Jejich význam je velký podle toho, kde se zrovna v dané elektrizační soustavě nacházejí. Jako nejdůležitější jsou bez pochyb uzlové elektrické stanice, které se vyskytují v přenosové síti. U distribuční sítě je důležitost jednotlivých elektrických stanic založená podle toho, jak velkou oblast daná stanice zásobuje elektrickou energií. To znamená, že čím větší oblast bude stanice zásobovat, tak tím má větší význam pro uvedenou síť. Jestliže se stanice nachází v důležitém uzlu sítě, tak musí zajistit spolehlivější distribuci elektrické energie než stanice vyskytující se v méně důležité oblasti soustavy. [3]

1.5.1 Rozdělení jednotlivých druhů elektrických stanic

Elektrické stanice lze rozdělit podle jejich funkce. Jednotlivé typy jsou popsány níže.

1.5.1.1 Spínací stanice

Jejich činností je elektrickou energii, jenž se do této spínací stanice přivede, rozvést do několika větví o stejném napětí v síti. Většinou tento úkol mají na starost primární eventuálně sekundární rozvodné zařízení, které se nacházejí v elektrizační soustavě. Jedná se o rozvodné zařízení měnících či transformoven. V soustavě o napěťové hladině zvláště vysokého napětí nebo velmi vysokého napětí se rozvodná zařízení používají venku. Uvnitř budovy se užívají rozvodné zařízení vysokého napětí a nízkého napětí. Schéma spínací stanice je znázorněno na obrázku č. 7. Lze uvažovat za spínací stanici také distribuční rozvaděč, jenž se nachází v sítích vysokého a nízkého napětí. [3]



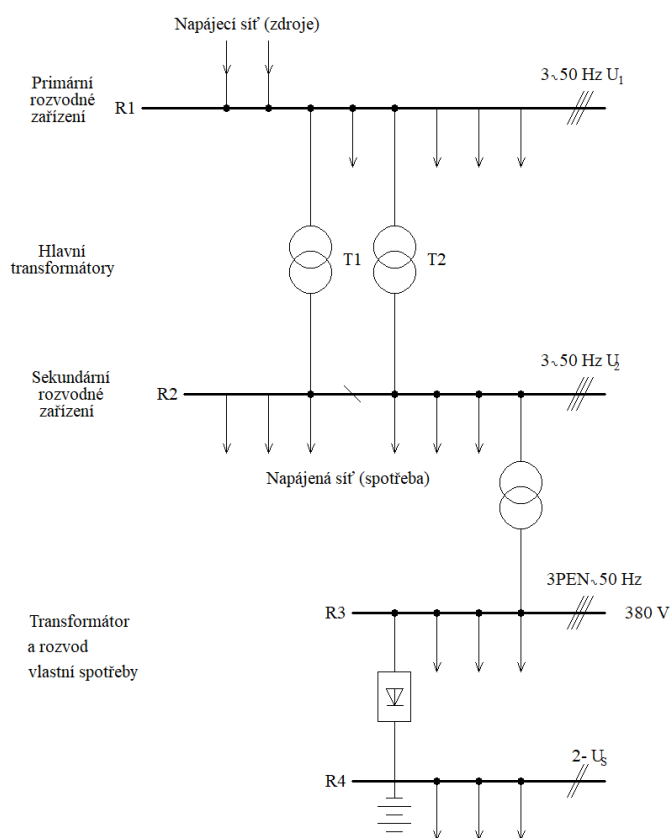
Obrázek 7: Schéma spínací stanice. [3]

1.5.1.2 Transformovny

U transformoven se požaduje, aby přivedenou elektrickou energii o napětí U_1 transformoval na elektrickou energii, která bude mít odlišnou hodnotu napětí U_2 při stejné frekvenci. Podstatnou

součástí transformovny jsou výkonové transformátory, které se dále rozdělují podle převodu napětí. Když bude převod napětí $U_1 > U_2$, tak se daný transformátor používá ke snižování napětí a mluví se o snižovacím transformátoru. Při převodu napětí $U_1 < U_2$ se výstupní napětí zvyšuje a jedná se o zvyšovací transformátor. Jako poslední je oddělovací transformátor, kde je převod napětí $U_1 = U_2$ a užívá se k oddělení dvou elektrických sítí, ale musí mít stejnou hodnotu napětí. [3]

Princip transformovny lze vysvětlit tímto způsobem. Nejdříve se přivedená elektrická energie o hodnotě napětí U_1 odvede pomocí jednoho či několika vedení na přípojnice, jenž patří primárnímu rozvodnému zařízení. Pak se přivede na transformátory, kde se přemění na elektrickou energii o hodnotě napětí U_2 . Často se také stává, že z transformovny je odvedena elektrická energie o hodnotě napětí U_1 do jiné elektrické stanice. Takže lze říct, že primární rozvodné zařízení pracují v podstatě také jako uzel, kde se napětí o hodnotě U_1 dělí do několika větví. To stejné platí pro sekundární rozvodné zařízení, které také rozděluje napětí o hodnotě U_2 do několik větví. Transformovna má tedy dvě podstatné funkce a tím je rozvod a přeměna elektrické energie. Tyto elektrické stanice se mohou umístit buď v budově, kde budou úplně kryté nebo budou zakryté jen rozvodné zařízení vysokého a nízkého napětí. Ostatní rozvodná zařízení zvláště vysokého a velmi vysokého napětí se nachází ve venkovním prostředí, a to samé platí pro výkonové transformátory. Dané schéma transformovny je zobrazeno na obrázku č. 8. [3]



Obrázek 8: Schéma transformovny. [3]

1.5.1.3 Měnírny

Měnírna se používá buď k přeměně proudu na odlišnou soustavu (stejnoseměrná nebo střídavá) nebo k obměně jeho kmitočtu. Nyní se užívají hlavně tyristorové měniče ke změně proudu ze střídavé sítě na stejnosměrnou a opačně. Je to z toho důvodu, že tyristorové měniče jsou schopné získat značné

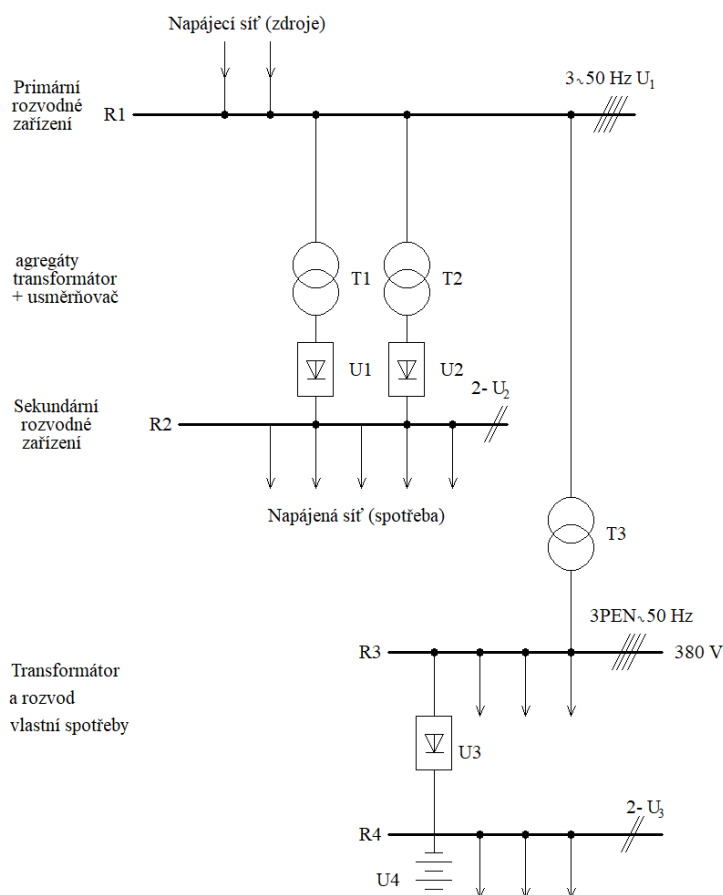
výkony a také jejich další výhodou je v tom, že mají vysokou rychlost ovládání. Rozděluje tyto stanice na dva druhy, jenž jsou popsány níže. [3]

- **Střídačové elektrické stanice**

Jejich funkce je založena na opakované přeměně stejnosměrného proudu na střídavý a umísťují se na závěr vedení stejnosměrného přenosu elektrické energie. [3]

- **Usměrňovací elektrické stanice**

U těchto stanic se střídavý proud mění na stejnosměrný proud. Proto je potřeba, aby stanice obsahovaly agregáty, pomocí kterých se pak vykonává jejich hlavní činnost. Tyto agregáty se skládají z usměrňovačů a dále také z transformátorů. Tyto stanice můžeme najít v elektrické trakci, kde se stejnosměrná elektrická energie použije pro napájení tramvajových, železničních a trolejbusových drah. Dále se stejnosměrná energie používá v průmyslových podnicích například pro ovládané stejnosměrné pohony nebo při elektrolýze na produkci hliníku, chlóru atd. Schéma usměrňovací stanice lze vidět na obrázku č. 9. [3]



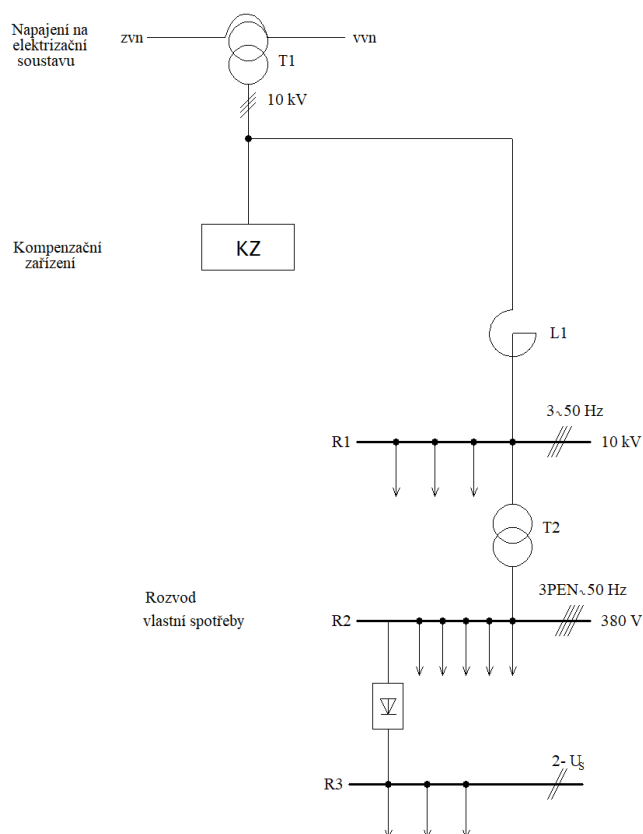
Obrázek 9: Schéma usměrňovací stanice. [3]

1.5.1.4 Kompenzační stanice

Aby se vykompenzovaly jalové složky elektrického proudu v síti, tak je potřeba obměnit určité parametry, jenž se nacházejí ve vedení, což má vliv na celkový přenos energie. K tomuto úkolu se používá elektrická stanice, která se nazývá kompenzační stanice. Mezi kompenzační prostředky patří

například kompenzační tlumivka, rotační synchronní kompenzátor, což je synchronní stroj pracující naprázdno nebo statické kondenzátory. [3]

Kompence se v distribuční síti používá hlavně kvůli tomu, aby se snížily ztráty v síti. Kvůli tomu je potřeba vykompenzovat indukční jalový výkon. Nejčastěji se využívá kondenzátorová baterie v zapojení do skupinové nebo centrální kompenzace. Jiné je to u přenosové sítě, kde se kompenzace zásadně využívá pro regulaci napětí pomocí obměny jalové energie. Dané schéma kompenzační stanice je znázorněno na obrázku č. 10. [3]



Obrázek 10: Schéma kompenzační stanice. [3]

1.5.2 Silnoproudá rozvodná zařízení

Hlavní činnosti rozvodného zařízení lze už poznat podle jeho názvu, protože rozvádí elektrickou energii, jež byla přivedena od zdrojů v elektrárnách, do dalších větví v elektrizační soustavě. Rozvodné zařízení představují uzly soustavy, do kterých se elektrická energie přivádí nebo odvádí, a to na základě stavu spínacích zařízení, jež se nacházejí v daných větvích. A proto na velikost silnoproudého rozvodného zařízení má největší vliv hlavně množství vývodů a počet přívodů. [3]

Pro rozvodné zařízení jsou velmi důležité tzv. přípojnice, což si lze představit jako holé pásové vodiče. Na tyto přípojnice se zapojují přívody a vývody, jež obsahují všechny elektrické přístroje nutné k vykonání různých činností rozvodných zařízení. Do těchto činností patří například jištění vedení proti proudům dosahujícím vysokých hodnot a také ochrana proti přepětí. Další jeho funkcí je zapínání a vypínání zmíněných vedení a měření různých elektrických hodnot. [3]

Rozvodné zařízení s napětovou hladinou VVN a ZVN se zpravidla staví ve venkovních prostorech jako rozvodny. Všechny její elektrické přístroje, důležité spoje a přípojnice se nacházejí ve vnějším prostředí, kde jsou postaveny na betonovém základu a mají většinou ocelovou konstrukci. [3]

Rozvodné zařízení VN se můžou vyskytovat, jak ve venkovním prostředí, tak i ve vnitřním prostoru. Rozvodné zařízení, které se nacházejí venku, se objevují ve dvou provedeních, a to buď jako vnější skříňový rozvaděč nebo venkovní rozvodna. U vnitřních zařízení se jedná buď o skříňový rozvaděč či kobkovou rozvodnu. U těchto zařízení se všechny odbočky pak jednotlivě přiřazují k jedné skřínce rozvaděče nebo k jedné kobce rozvodny. [3]

1.5.2.1 Rozdělení silnoproudých rozvodných zařízení

Dle způsobu instalace se silnoproudé rozvodné zařízení rozdělují na: [4]

a) Rozvodnice

Rozvodnice patří mezi nejmenší rozvodné zařízení. Většinou je lze vidět ve tvaru skříně, která je buď připevněna na stěně nebo je zapuštěna přímo ve zdi. Rozvodnice se na místě určení dodává už jako kompletně sestavený celek. Rozvodnice obvykle obsahují vypínač, jenž je umístěn na přívodu, pak také různé množství jističů a pojistek pro jištění jednofázových a trojfázových obvodů. Jestli se pak jedná o rozvodnici většího rozměru, tak má ve výbavě ještě zabudované přípojnicové vodiče, z kterých se vyvádějí odbočky z vodičů fázových a také ze středního vodiče. U rozvodnic menšího rozměru se problém s více odbočkami řeší tak, že se spojení přívodu provede na počátečních (vstupních) svorkách jističích zařízení. Je ale nutné, aby rozvodnice obsahovala ochrannou svorkovnici. [5]

b) Rozvaděč

Rozvaděč je silnoproudé rozvodné zařízení, jenž je rozměrově větší než výše uvedená rozvodnice a je tedy vybavená větším počtem měřících, spínacích a jističích zařízení. Rozvaděč se odzkouší a sestaví přímo u výrobce a dodává se už jako sestavený celek na požadovaném místě. Součástí rozvodného zařízení jsou pokaždé vnitřní přípojnice, jenž slouží ke spojení napájecího vedení a všech odboček, které se z přípojnice odvádí. Rozvaděč se umísťuje buď na stěně nebo se zapouští přímo do zdi. Je možné ho také nalézt na sloupku, kde už ale je potřeba provést menší stavební úpravy hlavně z toho důvodu, aby se vhodně uložily kabely. Každý rozvaděč se vyrábí v různých variantách a liší se zejména svým obsahem. Může tedy mít ve výbavě různé jističí a spínací přístroje nebo může také obsahovat prostředky ke kompenzaci účinníku. [5]

c) Rozvodna

Jedná se o velké rozvodné zařízení, které se může vyskytovat s napětovou hladinou od nízkého napětí až po zvlášť vysoké napětí. V podstatě se jedná o kompletní elektrické stanice, které se chrání buď venkovním krytím nebo vnitřním krytím v budově. Rozvodna se vždy staví až na místě jejího využití z jednotlivých dílů, které jsou potřebné pro její provoz. Například takové kobkové rozvodny potřebují mít pro svojí realizaci speciální stavební prostor. [5] [8]

1.5.3 Schémata zapojení elektrických stanic

U elektrických stanic se požaduje, aby jejich schémata byly co nejvíce snadné a orientačně přehledné. Podle daného schématu pak lze stanovit provozní atributy používané elektrické stanice.

Každé schéma je vytvořeno z odboček a přípojníc. Odbočka je u rozvodných zařízení v podstatě souhrn elektrických přístrojů, jenž jsou k ní připojeny a které mají za úkol měřit, chránit a spínat jednotlivé přívody a vývody nacházejících se na dané odbočce. [4]

Odbočky se rozdělují podle jejich činnosti: [4]

a) Odbočky hlavní

Jejich hlavní funkce spočívá v rozvádění přivedené elektrické energie směrem z přípojníc až do dílčích větví nacházejících se v dané soustavě. Do této skupiny patří odbočky transformátorové a alternátorové. Přes tyto odbočky se elektrická energie dále rozvádí až do přípojníc. Jako další se tu ještě nacházejí odbočky vývodové, jenž směřují do kabelového nebo venkovního vedení. Z těchto odboček se elektrická energie dostává do jednotlivých větví vyskytujících se v soustavě. [5]

b) Odbočky pomocné

Tyto odbočky se používají k měření a spínání v rozvodném zařízení. Do této skupiny patří spínače hlavních přípojníc, spínače pomocných přípojníc, odbočky pro měření napětí a odbočky pro bleskojistky. [4] [5]

Rozdělení odboček podle jejich výzbroje: [4]

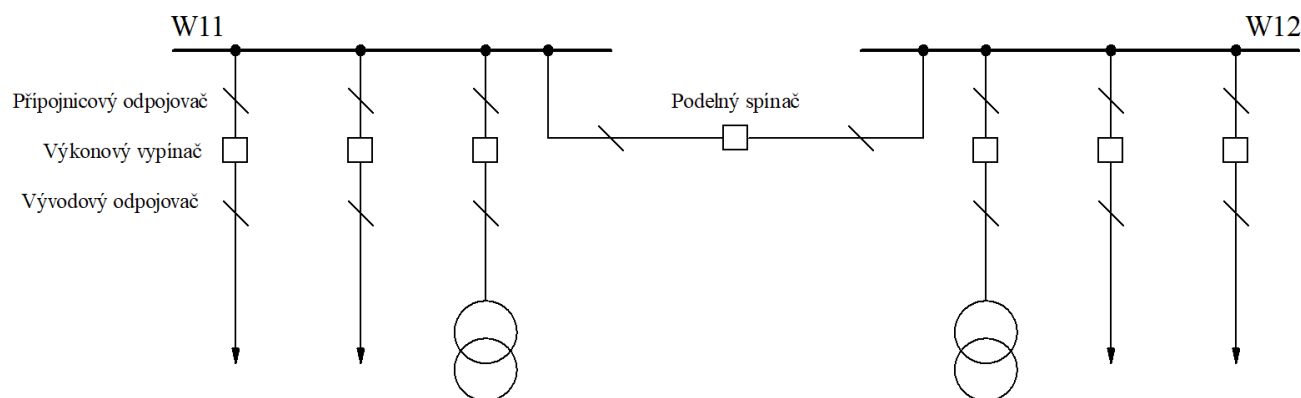
U tohoto dělení odlišujeme odbočky na provozní a záložní. Záložní odbočky se dále ještě vyskytují s částečnou nebo plnou výstrojí. [5]

1.5.3.1 Schémata elektrických stanic dle druhů použitých systémů přípojníc

Jak to již bylo už zmíněno jednou výše, přípojnice jsou v podstatě holé vodiče, na které se zapojují jednotlivé odbočky. Proto jsou pro rozvodné zařízení velmi důležitou součástí. Jestliže by vznikla porucha na přípojnících, tak by následovalo vypnutí rozvodného zařízení z provozní činnosti. Kvůli tomu je snaha kombinovat několik systémů přípojníc, což má za následek nárůst spolehlivosti v provozu. Rozvodná zařízení se na základě typů a množství užitých přípojníc vykonávají buď s přímými přípojnícemi, s okružními přípojnícemi, bez přípojníc nebo s větším množstvím vypínačů na dané odbočce. [8]

a) Schéma jednoduchého uspořádání přípojníc

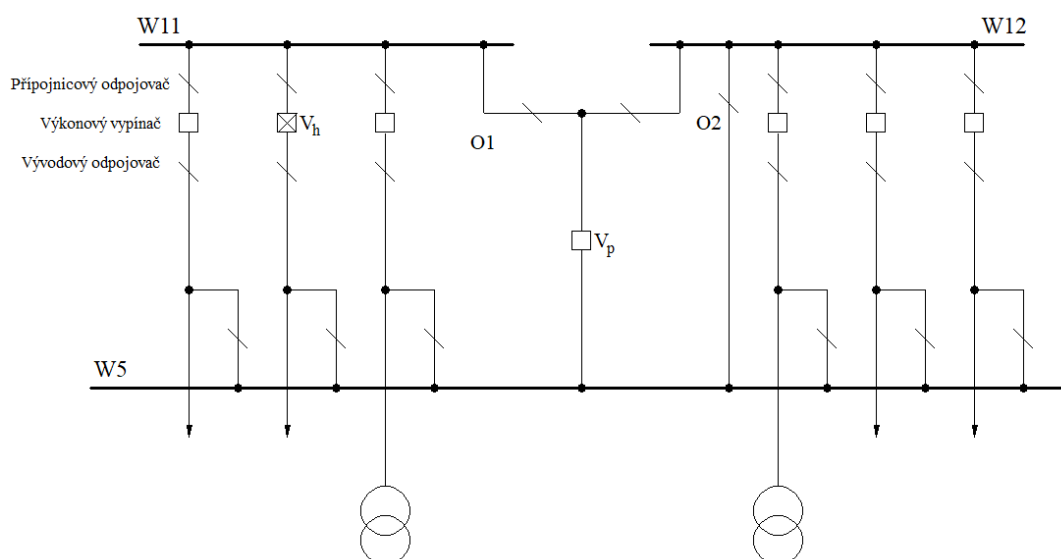
Tento druh systému přípojníc se využívá v případech, kdy není potřeba mít nepřetržitou dodávku elektrické energie jako například při opravách. Aby se zvýšila provozní spolehlivost tohoto systému, tak se využívá podélné dělení přípojníc. To znamená, že kdyby vznikla porucha na jednom z napájecích zdrojů, tak díky podélnému spínači a odpojovačů se paralelně propojí porušená část s neporušenou částí, a tím by se celý systém napájel z jednoho napájecího zdroje. Hlavní výhodou tohoto systému je v jeho přehlednosti a triviálnosti. Také náklady zmiňovaného systému nejsou příliš velké. Toto uspořádání lze nejčastěji vidět v rozvodných zařízeních nízkého napětí, ale také u málo významných rozvodných zařízeních vysokého napětí. Tento systém je znázorněn na obrázku č. 11. [4]



Obrázek 11: Schéma jednoduchého uspořádání přípojníc s podélným dělením. [4]

b) Schéma jednoduchého uspořádání s pomocnou přípojnici

Pomocná přípojnice se používá tehdy, když je potřeba zabezpečit, aby zásoba elektrické energie nebyla přerušena během oprav nebo při údržbě. Princip tohoto systému bude vysvětlen podle obrázku č. 12. U tohoto schématu lze vidět rezervní provoz odbočky, který se provedl při vypnutí výkonového vypínače V_h za pomoci spínače V_p patřící pomocné přípojnicí. Jen vždy jediná odbočka se může zapojit na pomocnou přípojnicí, jenž má označení W_5 . Dále lze vidět, že spínač je proveden jako kombinovaný což znamená, že umožňuje zapojit jak pomocnou přípojnicí k oběma podélně děleným částem, jenž patří k hlavní přípojnicí, ale také tak dokáže podélně spojit hlavní přípojnice za použití odpojovačů s označením O1 a O2. [4]



Obrázek 12: Schéma jednoduchého uspořádání přípojníc s pomocnou přípojnici. [4]

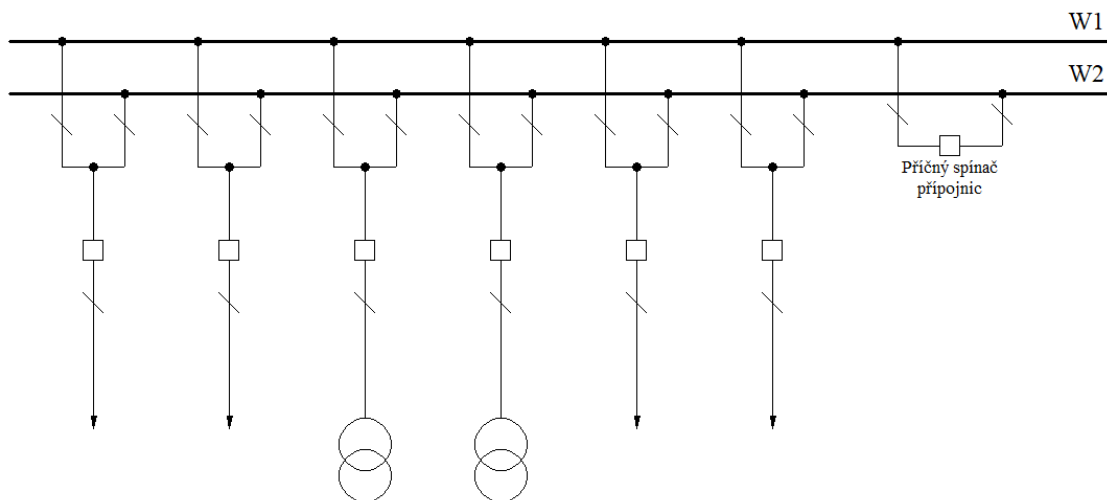
c) Schéma dvojitého uspořádání přípojníc

Dvojitý systém přípojníc se hlavně využívá tam, kde je nezbytnost mít vysokou provozní spolehlivost, což znamená, že se v žádném případě nesmí přerušit dodávka elektrické energie nebo se používá tam, kde je nutnost rozdělit odbočky do dvou částí, a to kvůli těmto důvodům: [4]

- Při nutnosti snížit zkratové proudy.
- Kvůli rozčlenění kabelových sítí od venkovních sítí.

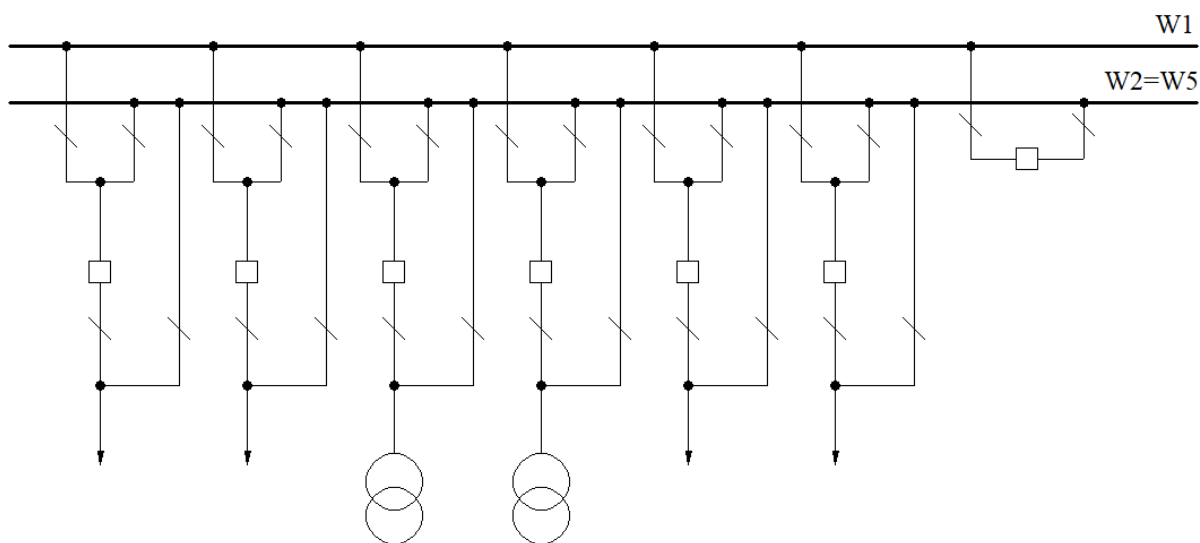
- Nezbytnost mít současné napájení ze dvou na sobě nezávislých elektrických zdrojů.
- Při potřebě zabezpečení významných odběrů v případě vypadnutí napájecích zdrojů.

Schéma dvojitého systému přípojníc je zobrazeno na obrázku č. 13. Na obrázku je znázorněn také příčný spínač, který je za normálního provozu rozpojený.



Obrázek 13: Schéma dvojitého uspořádání přípojníc. [4]

d) Schéma dvojitého uspořádání přípojníc, kde lze použít jednu hlavní přípojnicí jako pomocnou

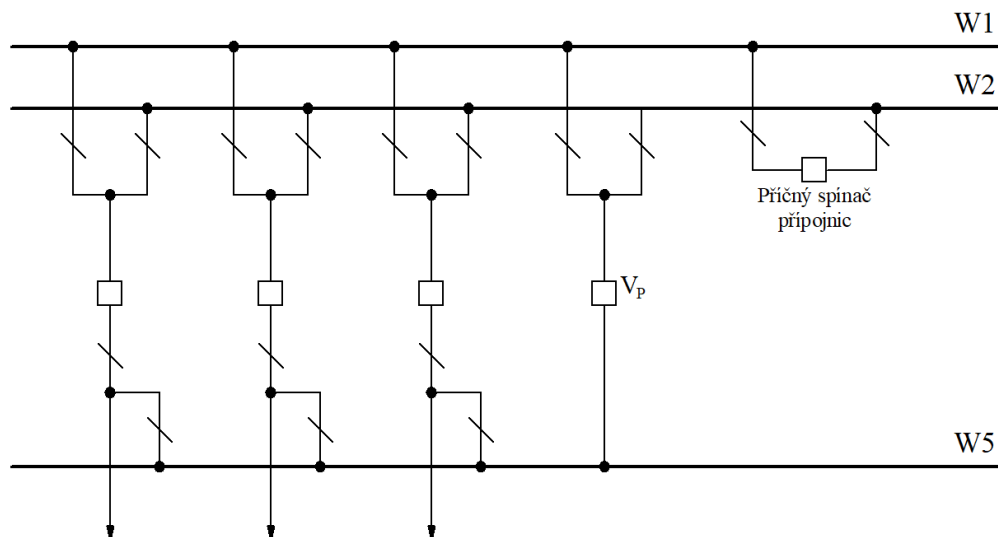


Obrázek 14: Schéma dvojitého uspořádání přípojníc, kde jedna pracuje jako pomocná. [4]

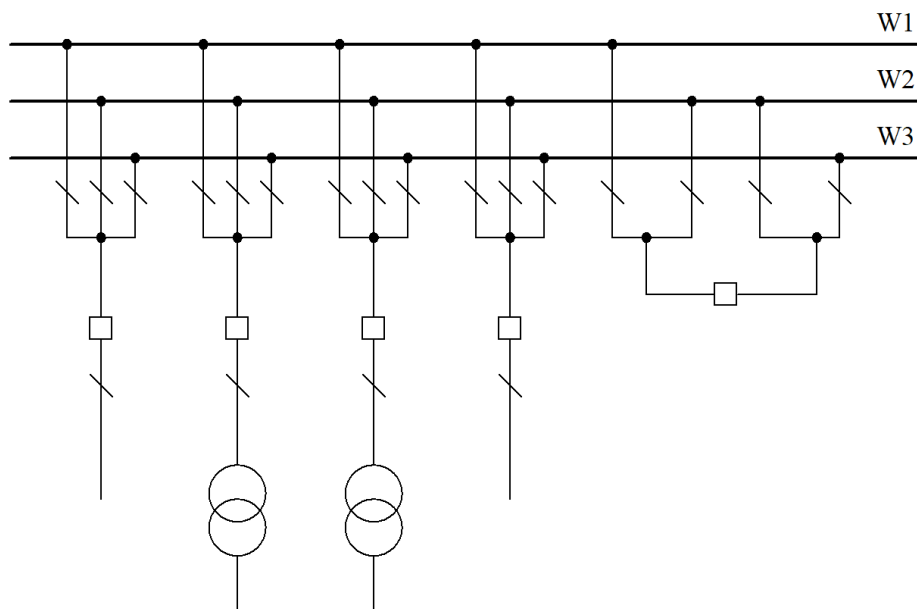
Tento systém umožňuje využít jednu hlavní přípojnicí tak, že se z ní stane pomocná přípojnice. Ve schématu se nachází tzv. přemostovací vypínač, který je schopen při poruše převést jakýkoliv vývod na vedlejší přípojnicí označenou W2, která by tudíž fungovala jako pomocná přípojnice W5. Tenhle systém je nakreslen na obrázku č. 14. Hlavní výhoda daného uspořádání je v tom, že během opravy nebo údržby vypínače nedochází k zastavení dodávky elektrické energie v dané odbočce. Protože ale pracuje jedna hlavní přípojnice jako pomocná, tak se musí zbylé odbočky z dané přípojnice zapojit na druhou přípojnicí, která funguje jako hlavní, což je nevýhoda tohoto systému. [8]

e) Schéma dvojitého uspořádání přípojnic s pomocnou přípojní

Při porovnání s ostatními dvojitými systémy lze zjistit, že tento způsob uspořádání je investičně dražší. Systém se používá hlavně tehdy, když je potřeba v případě oprav zabezpečit neustálou dodávku elektrické energie. Kvůli tomuhle požadavku obsahuje tzv. spínač výpomocné přípojnice. Jedná se o elektrický přístroj, který umožňuje zajistit v chodu odbočku, u které se vyskytla porucha. Vždy podle odbočky, která je nejvíce zatížena na rozdíl od ostatních odboček, se navrhuje spínač výpomocné přípojnice a samostatná výpomocná přípojnice. Na obrázku č. 15 je zobrazen daný systém. [8]



Obrázek 15: Schéma dvojitého uspořádání přípojnic s výpomocnou přípojní. [4]

f) Schéma trojitého uspořádání přípojnic

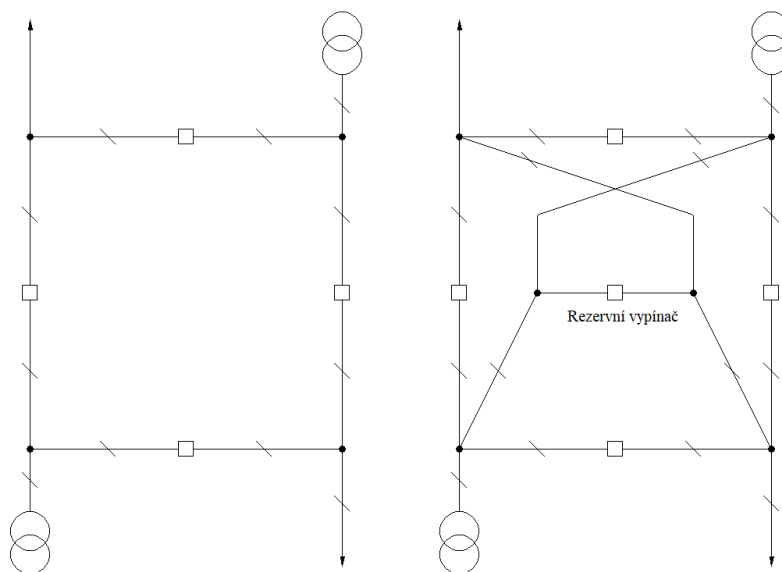
Obrázek 16: Schéma trojitého uspořádání přípojnic. [4]

Tento systém funguje tak, že se buď z jedné hlavní přípojnice stane pomocná přípojnice nebo bude v daném schématu přímo jedna pomocná přípojnice. Schéma daného systému je možné vidět na obrázku č. 16. Jeho hlavní využití je v případech: [4]

- Kdy je nutné mít dvojité přípojnice neustále oddělené během provozní činnosti a při údržbě nesmí nastat situace, aby došlo k výpadku napájení elektrické energie. [4]
- Když nastanou značné zkratové výkony, tak je nezbytnost mít provozní chod rozdělen do tří částí nebo se používá v situacích, kdy je potřeba vykonat provozní rozdělení v elektrických sítích. [4]

g) Schéma okružní přípojnice

Jedná se o soustavu několika přípojníc, které jsou zapojeny takovým způsobem, že jsou vzájemně uzavřeny. Jednotlivé odbočky se v daném systému zapojují vždy tak, aby se nacházely mezi dvěma výkonovými vypínači, protože pomocí toho se docílí, že nevznikne jakýkoliv výpadek dodávky elektrické energie během konání revize či poruše některého z vypínačů. Tvar jednotlivých přípojníc je do tzv. mnohoúhelníku a většinou se lze setkat s tvarem do trojúhelníku, čtyřúhelníku nebo osmiúhelníku. V některých případech se používá v okružní přípojnici elektrický prvek, který nese název rezervní vypínač. Tento vypínač se zapojuje v situaci, když je potřeba některý vypínač kvůli revizi vypnout, což má za následek, že systém přípojníc ztratí svůj okružní charakter, a proto je zde rezervní vypínač, který daný vypnutý vypínač nahradí a tím se systém vrátí do původního stavu. Hlavní využití tohoto systému je v podstatných energetických uzlech velmi vysokého napětí. Na obrázku č. 17 jsou znázorněny schémata okružních přípojníc ve tvaru do čtyřúhelníku, kdy vlevo je bez rezervního vypínače a vpravo je s rezervním vypínačem. [4]

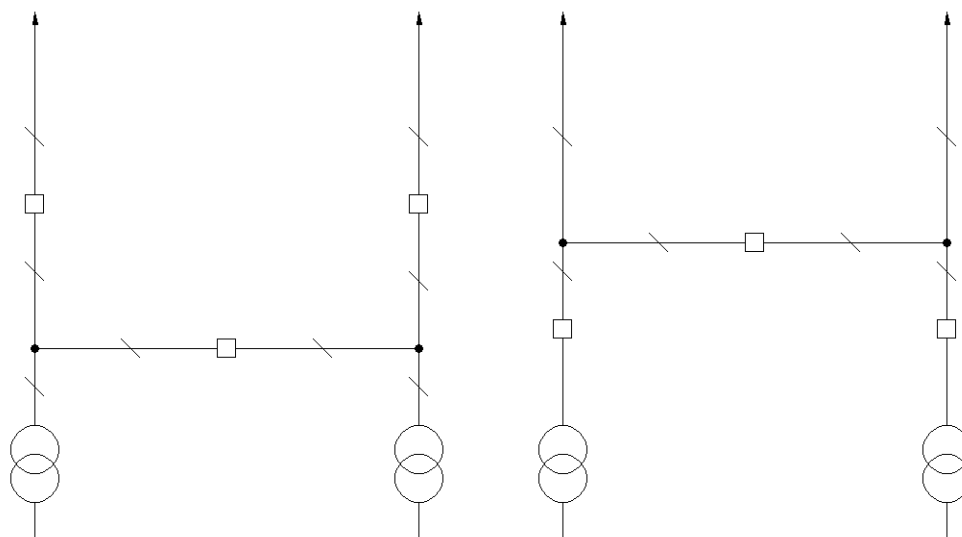


Obrázek 17: Schémata okružních přípojníc ve tvaru čtyřúhelníku, kdy vpravo je s rezervním vypínačem a vlevo je bez rezervního vypínače. [4]

h) Schéma bez přípojníc

Systém bez přípojníc se většinou využívá pro menší distribuční elektrické stanice s napětím 110 kV/VN, u kterých se již neočekává, že by nastalo rozšíření dané rozvodny. Také jej lze použít u vedení

průběžných a koncových, jenž jsou zobrazeny na obrázku č. 18. Další možnost využití tohoto systému je v elektrické stanici, která obsahuje dva transformátory a k tomu ještě dva přívody. [4]



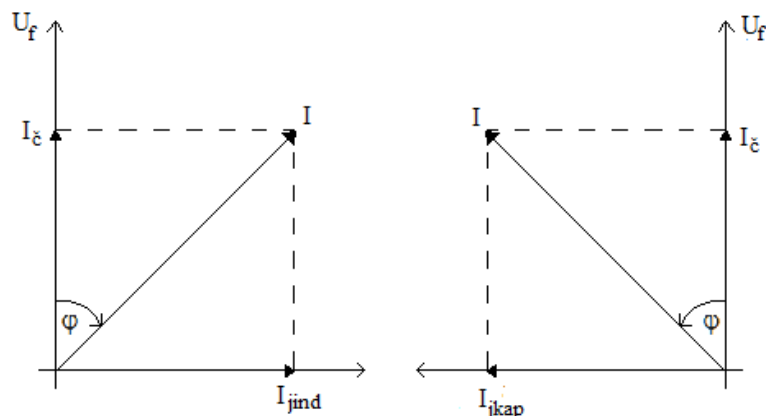
Obrázek 18: Schémata bez přípojníc, kde vpravo je pro použití s průběžným vedením a vlevo je pro užití s koncovým vedením. [4]

1.6 Kompenzace jalové energie v průmyslovém rozvodu

Kompenzace jalové energie se používá hlavně z toho důvodu, aby se snížily činné ztráty v průmyslové síti, což se provádí zmenšením jalové složky proudu. Je to kvůli tomu, že jalová složka proudu spolu s činnou složkou proudu se podílejí na vzniku činných ztrát. Protože nelze jalový výkon v elektrické síti nijak vhodně zužít a pouze tedy dochází k jeho přenosu mezi elektrickým zdrojem a zátěží, tak nastává kvůli němu zbytečné zatěžování průmyslové sítě. Tohle zatěžování má za následek zvýšené ztráty na vedení. Proto se používá kompenzace, která je schopná snížit danou jalovou složku proudu na co nejmenší hodnotu. Všichni odběratelé elektrické energie jsou povinni mít realizovanou kompenzaci, protože by jim jinak hrozilo, že se celková cena elektrické energie zvýší vlivem cenové přírážky od dodavatele, který jim příslušnou energii dodává. [1] [9]

V průmyslové síti lze nalézt velké množství odlišných elektrických spotřebičů, které se liší hlavně svým charakterem. Rozlišují se spotřebiče činného, induktivního nebo kapacitního charakteru. Zcela činný charakter mají ty elektrické spotřebiče, ve kterých je fázový posuv mezi napětím a proudem nulový. Jedná se tedy například o elektrický vařič, klasickou žárovku, sporák atd. Další skupinou jsou spotřebiče induktivního charakteru, do kterých patří různé transformátory, motory, indukční tavicí pece apod. Všechny tyto spotřebiče se neobejdou bez magnetického pole, které je nutné pro správnou funkci těchto spotřebičů. Kvůli tomu, aby se magnetické pole vyrobilo, tak musejí zmíněné elektrické spotřebiče z průmyslové sítě odebírat nejen činnou složku proudu, ale také induktivní jalovou složku proudu. Dále je u nich charakteristické, že fázor proudu je zpožděn za fázorem napětí o úhel 90° . Poslední kategorií jsou spotřebiče, jenž mají kapacitní charakter. Vyznačují se tím, že jejich fázor proudu je před fázorem napětí o úhel 90° , což je přesně opačně při porovnání s induktivními spotřebiči. Jedná se zejména o elektrické spotřebiče jako jsou kondenzátory či dlouhé vedení. [9]

Z fázorových diagramů, které jsou znázorněny na obrázku č. 19, lze zjistit, že jalové proudy spotřebiče kapacitního a induktivního charakteru jsou v protifázi. To znamená, že když se správně zapojí do sítě spotřebiče obou zmíněných charakterů, tak lze dosáhnout takové situace, kdy jalová složka proudu bude buď nulová nebo bude mít alespoň nejnižší možnou hodnotu. [1]



Obrázek 19: Fázorový diagram kapacitního a induktivního elektrického spotřebiče. [1]

V elektrických sítích jsou induktivní spotřebiče zastoupeny většinou v největším počtu při porovnání s ostatními zmíněnými charaktery. Hlavně se v sítích vyskytují elektrické motory, které odebírají ze sítě jalovou induktivní složku proudu, čímž jak už to bylo jednou zmíněno nesmyslně zatěžují elektrickou síť i napájecí zdroje, což má za následek vznik větších činných ztrát. Z toho důvodu je potřebné, aby se daný jalový induktivní proud neboli induktivní jalový výkon kompenzoval. Kompenzace se provádí tak, že se do sítě zapojí zdroj jalového výkonu, který dodá potřebný kapacitní jalový výkon daným induktivním spotřebičům, čímž se provede požadovaná kompenzace a tím se zmenší činné ztráty. Většinou se jako zdroj jalového výkonu používá kondenzátor, který se připojuje paralelně ke spotřebičům. Je hlavně důležité, aby se kondenzátor připojil v co nejbližší vzdálenosti k zátěží. Je to kvůli tomu, že síť za kompenzačním prostředkem už není vykompenzovaná, čímž se tam vytvářejí větší ztráty. [9]

1.6.1 Výhody kompenzace jalové energie

- Rozvodné zařízení se v průmyslové síti lépe využijí.
- Kompenzace umožní větší přenos činného výkonu.
- Činné ztráty a úbytky napětí se v síti vlivem kompenzace zmenší na vhodnou hodnotu.
- Dále může být snížena sazba za odebranou elektrickou energii od dodavatele.
- Zmenší se cena na pořízení elektrických zařízení používaných v soustavě, protože se navrhuje na zdánlivý výkon. Jedná se o vypínače, transformátory, spínací a jistící přístroje apod. [1]

1.6.2 Typy kompenzačních zařízení

Mezi kompenzační prostředky využívané pro kompenzaci jalového výkonu se používají buď statické kompenzátory nebo točivé kompenzátory. Dále se ještě užívají aktivní filtry, které jsou schopny zároveň kompenzovat jalovou energii a také přitom odstraňovat nežádoucí harmonické, jenž se nachází v dané průmyslové síti. [1] [9]

1.6.2.1 Statické kompenzační prostředky

V průmyslových sítích se nejčastěji používají statické kompenzátory, které jsou tvořeny většinou pasivními obvodovými prvky v různých zapojeních. Do této skupiny patří statický kondenzátor, kompenzační filtr a chráněná kompenzační sekce. [1] [9]

Mezi hlavní přednosti statických kondenzátorů jsou jejich nízké ztráty, které se pohybují v rozmezí od 0,3 až 0,5 % jejich jmenovitého výkonu. Dále jsou investičně levnější a nevyskytují se u nich žádné točivé součásti jako je to u rotačních kompenzátorů. Další výhodou u těchto kompenzátorů je v tom, že nemusí mít k dispozici žádnou obsluhu. [1] [9]

Nevýhoda těchto kompenzátorů nastává v případě, kdy je nutné měnit potřebný kompenzační výkon. Je to z toho důvodu, že změna požadovaného výkonu se mění pouze skokově, což je realizováno pomocí připojování nebo odpojování dílčích kompenzačních kondenzátorů, jenž se nacházejí v dané průmyslové síti. Dále je u těchto kondenzátorů nevyhovující, že při spínání těchto obvodů je tam pravděpodobné, že se v dané síti objeví přepětí. Také je nutné, aby statické kondenzátory byly vybaveny vybíjecími zařízeními. Je to z toho důvodu, že na kondenzátorech se po jejich odpojení od napájecí sítě zachová vždy určitá velikost náboje, kterou je potřeba vybit. Proto tam jsou vybíjecí zařízení, který daný náboj vybijí přímo do sebe. Jako vybíjecí zařízení se užívají buď vybíjecí odpory nebo se přímo používá vinutí elektrického motoru, do kterého je připojen zmíněný statický kondenzátor. [1] [9]

Vztah pro dotykové napětí U_d je dán:

$$U_d = U_z \cdot e^{\frac{t}{R_v \cdot C}} \quad [\text{V}] \quad (1.1)$$

Vzorec pro hodnotu vybíjecího odporu R_v :

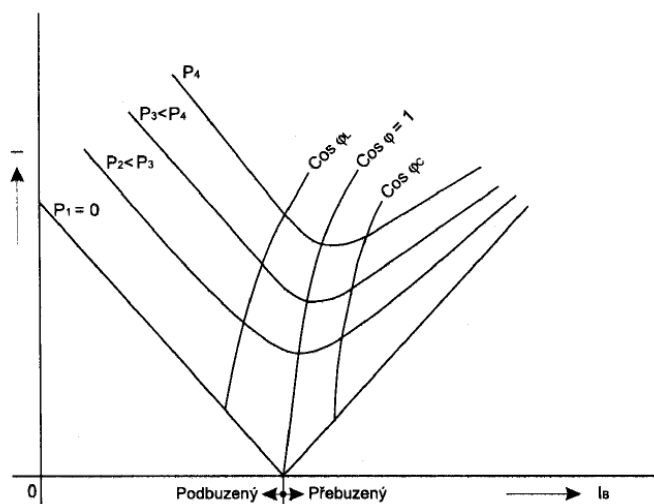
$$R_v = \frac{t}{C \cdot \ln \frac{U_z}{U_d}} \quad [\Omega] \quad (1.2)$$

1.6.2.2 Rotační kompenzační prostředky

Do této skupiny patří synchronní kompenzátor, který si lze představit jako synchronní motor, jenž se nachází v přebuzeném chodu a zároveň pracuje ve stavu naprázdno. Zmíněný kompenzátor má téměř nulový činný výkon, protože nevykonává žádnou činnou práci a dodává pouze jalový výkon do průmyslové sítě. Z toho důvodu se můžou projektovat na menší zatížení, než je to v případě synchronních motorů. Je ale nutné, aby synchronní kompenzátory disponovaly větším buzením oproti synchronním motorům. Díky tomu lze obměňovat účinník motoru od indukčního zatížení nacházející se ve stavu podbuzení až po kapacitní zatížení vyskytující se ve stavu přebuzení. [1] [9]

Hlavní výhodou rotačních kompenzátorů spočívá v regulaci kompenzačního jalového výkonu, která neprobíhá skokově jako u statických kondenzátorů, ale uskutečňuje se souvisle pomocí buzení daných motorů. Jejich nevýhodou jsou podstatně vyšší činné ztráty, které při provozu dosahují hodnot od 2 až 8 % jejich jmenovitého výkonu. Dále je nevyhovující, že rotační kompenzátory obsahují rotující komponenty, a proto je jejich údržba také složitější než u statických kondenzátorů. [9]

Jejich hlavní využití je v provozech, kde se nachází téměř konstantní zátěžný moment, což jsou například elektrické pohony pro zařízení jako jsou ventilátory, točivé pece nebo kompresory. Synchronní stroj má graf závislosti, který nese název V-křivky. Jedná se o závislost satorového proudu I na budícím proudu I_b , jenž je znázorněn na obrázku č. 20. Jestliže se bude obměňovat budící proud, za předpokladu konstantního napájecího napětí, kmitočtu a zátěžného momentu, tak se činný výkon synchronního motoru nebude měnit a bude mít stálou hodnotu. [9]



Obrázek 20: Závislost synchronního stroje tzv. V-křivky. [9]

Při správné regulaci budícího proudu I_b lze dosáhnout konstantního účinníku i při odlišných činných zatíženích synchronního stroje. Kvůli tomu je synchronní stroj vybaven regulátory, které zajistí, aby se účinník neměnil a měl trvalou ustálenou hodnotu při různých zatíženích. Hlavním problémem daných strojů je jejich časová odezva na požadovanou obměnu kompenzačního výkonu, která se vždy provádí s určitým zpožděním. Z toho důvodu se rotační kompenzátory nehodí pro elektrické spotřebiče, ve kterých se mění potřebný jalový výkon velmi rychle. [9]

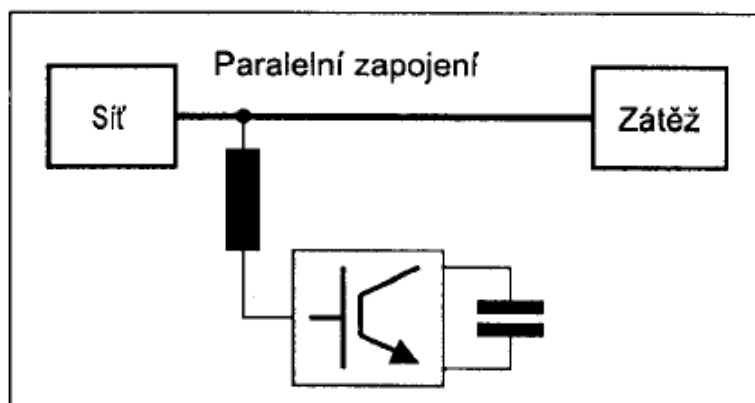
1.6.2.3 Aktivní filtry

Aktivní filtry se člení podle způsobu jejich připojení k průmyslové síti. Jedná se tedy o sériový a paralelní aktivní filtr. V podstatě se jedná o generátor, jenž je ovládán určitým regulátorem. Pomocí tohoto řízení se provádí potřebná kompenzace nevyhovujících harmonických, které se nacházejí v dané síti. Dále je činností aktivního filtru zdokonalovat napětí nebo proud podle toho, jakým způsobem se připojí k síti. [9]

a) Paralelní aktivní filtr

Zapojení paralelního aktivního filtru je na obrázku č. 21, ve kterém lze vidět paralelní spojení řízeného generátoru proudu se spotřebičem, který se vyskytuje v průmyslové síti. Jeho hlavní funkce spočívá v eliminaci harmonických proudů, jenž jsou v síti nevyhovující. Pracuje na takovém principu, kdy tvoří totožné harmonické proudy, které se nacházejí v průmyslové síti, ale s tím rozdílem, že se generují s odlišným směrem. Poté je přivádí do průmyslové sítě, čímž se zajistí, že konečný proud nebude obsahovat ty harmonické složky, které byly určeny jako nežádoucí. Paralelní aktivní filtr tedy

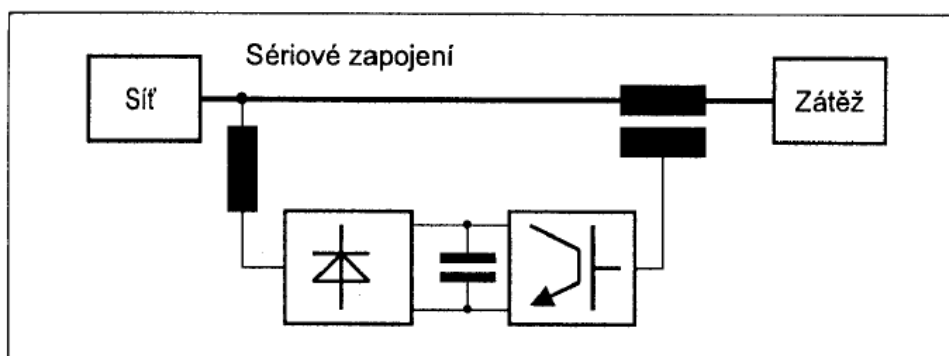
zajišťuje nejen eliminaci nevyhovujících harmonických proudů, ale také je schopen upravit napětí, které se zdeformovalo vlivem zapojeného elektrického spotřebiče. [9]



Obrázek 21: Zapojení paralelního aktivního filtru do průmyslové sítě [9]

b) Sériový aktivní filtr

Schéma sériového filtru je znázorněné na obrázku č. 22. Jedná se v podstatě o generátor napětí, jenž se zapojuje mezi průmyslovou síť a elektrickou zátěž. Tento filtr je schopen upravit dodávané napětí z průmyslové sítě na takový tvar, který se po něm vyžaduje. Pomocí tohoto filtru lze jednak udržovat v síti konstantní hodnotu maxima napětí a jednak umožňuje likvidovat nežádoucí harmonické, které se vyskytují v soustavě. Také je schopen vykompenzovat vzniklé nárůsty a poklesy napětí. Mimo jiné umožňuje sériový aktivní filtr zajistit dodávku elektrické energie v případě, že by došlo k přerušení napájení z důvodu různých poruch. V tomhle případě je ale nutné, aby měl daný filtr nezávislý rezervní zdroj, který ho bude napájet. [9]



Obrázek 22: Zapojení sériového aktivního filtru do průmyslové sítě. [9]

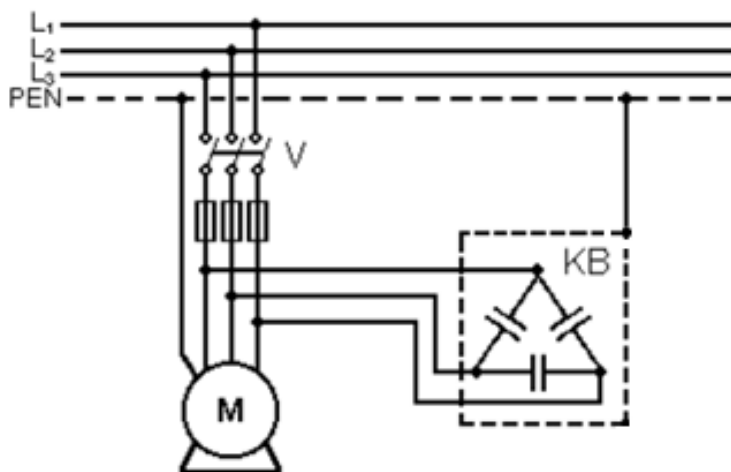
1.6.3 Možnosti zapojení kompenzačního zařízení do elektrické sítě

Podle způsobu zapojení kompenzátorů do průmyslové sítě lze rozlišovat kompenzaci individuální, ve které se jednotlivé elektrické spotřebiče kompenzují samostatně či kompenzaci skupinovou, kde se kompenzuje skupina elektrických spotřebičů pospolu nebo kompenzaci centrální, ve které se kompenzuje kompletně celá dílna obsahující odlišné spotřebiče jedinou kompenzační kondenzátorovou baterií. Dále se ještě používá kompenzace kombinovaná, což je různá kombinace předešlých způsobů. [1]

1.6.3.1 Individuální kompenzace jalového výkonu

Jak to již bylo jednou zmíněno výše, u každého elektrického spotřebiče je provedena kompenzace samostatně. Ke každému induktivnímu spotřebiči se připojí podle jejich jmenovitého výkonu precizně dimenzovaný kompenzační kondenzátor nebo kompenzační kondenzátorová baterie. Tyto kompenzační zařízení se zapojují buď rovnou na svorky daného motoru či přímo na výstupní kontakty připojených pojistek. Z důvodu toho, že statické kondenzátory jsou zapojeny k daným elektrickým motorům nepřetržitě, tak se zapínají a vypínají ve stejnou dobu s motorem, a proto není potřeba mít k dispozici zařízení k vypnutí těchto kondenzátorů. Kompenzační kondenzátory používané v sítí nízkého napětí nepotřebují mít v zapojení vybíjecí zařízení a ani pojistky. Kdežto u motorů připojených k vysokonapěťové síti je nutné, aby jejich kompenzační kondenzátory obsahovaly jak vybíjecí zařízení, tak i pojistky k ochraně před poruchami. Vždy po odpojení trojfázových statických kondenzátorů z napájecí sítě dochází k tomu, že přetrvává na jednotlivých fázích určité naindukované napětí, které je nutné vybit. Kvůli tomu se používá v zapojení vybíjecí zařízení, jenž zajišťuje vybití daných kondenzátorů. Individuální kompenzace se nejčastěji používá u asynchronních motorů, které jsou většinou v krátkodobém provozu a jejich zatížení je nízké. Na obrázku č. 23 je znázorněné schéma zapojení této kompenzace. [1] [9]

Hlavní výhoda individuální kompenzace spočívá v tom, že ze všech uvedených variant kompenzace dosahuje nejmenší hodnoty úbytku napětí a ztrát. Dále je přínosné, že příводы k jednotlivým elektrickým motorům jsou odlehčeny od zatěžování jalového proudu, čímž tato kompenzace dosahuje nejvyššího odlehčení při porovnání s ostatními variantami kompenzace. Spínací přepětí se u takového způsobu zapojení nevytváří. [1] [9]



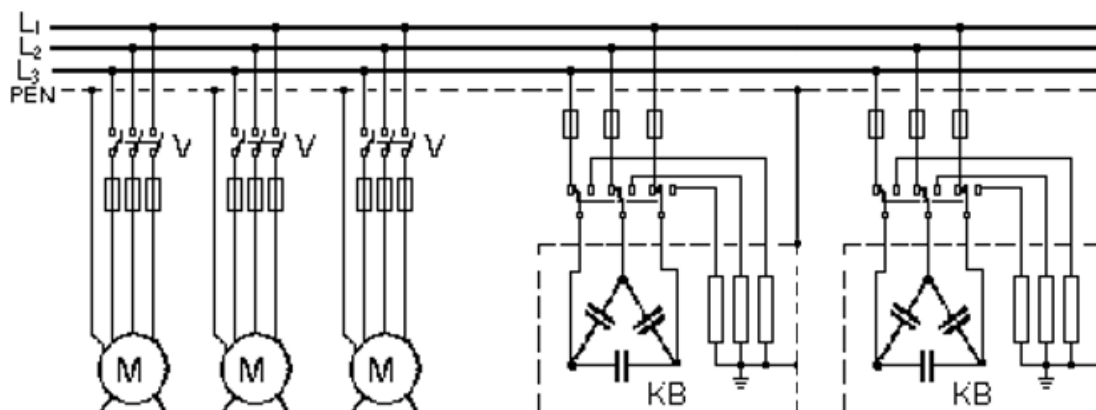
Obrázek 23: Zapojení individuální kompenzace. [1]

Hlavní nevýhoda tohoto způsobu zapojení je v elektrických motorech, které se v provozu nevyužívají často a kvůli tomu je instalovaný výkon u připojených kondenzátorů využíván příliš málo. Jako další nevýhoda spočívá v nesnadné kontrole těchto kompenzačních zařízení. Je to z důvodu toho, že jednotlivé kompenzační prostředky jsou rozmístěny po celém areálu závodu. [9]

1.6.3.2 Skupinová kompenzace jalového výkonu

U této kompenzace se kompenzuje větší počet elektrických spotřebičů pospolu. V zapojení je pouze jedna kondenzátorová baterie, jenž je zapojena na jednotlivé přípojnice rozvaděče. Tento

způsob kompenzace se používá obvykle v dílnách, kde je větší množství elektrických motorů. Schéma skupinové kompenzace je na obrázku č. 24. [1]



Obrázek 24: Zapojení skupinové kompenzace. [1]

Výhoda skupinové kompenzace je v kapacitním výkonu, který dosahuje nižších hodnot při porovnání s individuální kompenzací. Je to z toho důvodu, že se kompenzační baterie projektuje na celkové zatížení celé skupiny elektrických spotřebičů, kde se uvažují i činitelé soudobosti daných spotřebičů. Jako další výhoda je v tom, že se kompenzační baterie nachází pouze na jediném místě a že vedení je odlehčeno od jalového proudu až po daný skupinový rozvaděč. [1] [9]

Nevýhodou skupinové kompenzace je v potřebě provádět regulaci kompenzačního výkonu. Další nevýhoda je v tom, že elektrické vedení je zatěžované jalovým proudem od skupinového rozvaděče až k jednotlivým elektrickým spotřebičům vyskytujících se v zapojení. Dále je potřeba, aby kondenzátorová baterie byla vybavena pojistkami a vybíjecími odpory. [1] [9]

1.6.3.3 Centrální kompenzace jalového výkonu

Zapojení centrální kompenzace je shodné se schématem skupinové kompenzace, který je na obrázku č. 24. Rozdíl je ale v tom, že kompenzační zařízení je přímo připojené k hlavnímu rozvaděči. Centrální kompenzace se používá hlavně pro podniky, ve kterých se vyskytuje větší množství provozů. U tohoto způsobu zapojení se kompenzuje jalový výkon celé firmy, která obsahuje větší množství dílen. Kompenzace se provádí pouze na jediném místě, jenž se nazývá hlavní rozvodna. Na přípojnice v dané rozvodně je zapojena kondenzátorová baterie, jenž je společná pro všechny elektrické spotřebiče. [1] [9]

Tato kompenzace má výhodu v tom, že velikost její kompenzační baterie je nejmenší při porovnání s ostatními variantami kompenzace. To má za následek, že využití kondenzátorové baterie v provozu je ve srovnání s ostatními způsoby kompenzace nejlepší. Protože se kompenzační prostředek vyskytuje pouze na jediném místě, tak se kontrola daného kompenzátoru provádí snadněji. [1] [9]

Nevýhodou centrální kompenzace je v potřebě mít k dispozici samočinnou regulaci, která pracuje na takovém principu, kdy postupně zapojuje kondenzátory do sítě podle množství připojených elektrických spotřebičů. Další nevýhoda je v samotné síti podniku, která je zatěžována procházejícím jalovým proudem a tím není odlehčena. [1] [9]

2 Popis elektrické sítě VN Energetiky Třinec, a.s. a válcovny předvalků a hrubých profilů v Třineckých železárnách a.s.

Třinecké železářny jsou velkým průmyslovým hutním podnikem, který se zabývá výrobou ocelových válcových produktů. Jejich založení se uskutečnilo v roce 1839. Z důvodu toho, že se jedná o jeden z největších hutních podniků v České republice, tak bylo potřebné mu zajistit nepřetržitou dodávku elektrické energie. Kvůli tomu jsou Třinecké železářny napájeny ze třech napájecích zdrojů, které jsou na sobě nezávislé. Jedná se o: [32]

- Rozvodnu Ropice – Dodává se do ní elektrická energie ze dvou linek z Albrechtic a ze dvou linek z Lískovce.
- Polskou rozvodnu Mnisztwo
- Nezávislé elektrické generátory spadající pod Energetiku Třinec, a.s.

2.1 Popis hlavních rozvodů

V Třineckých železárnách je schéma sítě VN rozděleno na severní a jižní část. Severní část obsahuje hlavní rozvodny TII a TIII, které jsou postaveny jako venkovní. V jižní oblasti se nachází rozvodna TIV, která je provedena jako zapouzdřená.

2.1.1 Rozvodna TII s převodem napětí 110/22 kV

Rozvodna TII je napájena z linek 110 kV, které vedou z rozvodny Ropice. Dále je napětí přeměno z hodnoty 110 kV na 22 kV pomocí dvou transformátorů s označením T111 a T112, jenž mají oba zdánlivý výkon 25 MVA. Poté je v části s hodnotou napětí 22 kV realizován systém přípojníc s podélným dělením. Tuto část zásobují také dva generátory. První generátor s označením TG11 má výkon 15 MVA a je připojen přes transformátor T1 22/6 kV o výkonu 16 MVA. Druhý generátor s označením TG12 má výkon 42 MVA, který je také zapojen přes transformátor T2 22/6 kV o výkonu 40 MVA. Dále je rozvodna TII s hodnotou napětí 22 kV spojena vedením s rozvodnou TIV o napětí 22 kV.

2.1.2 Rozvodna TIII s převodem napětí 110/6 kV

Rozvodna TIII je napájena z linky 110 kV, která je vyvedena z rozvodny Ropice. Napětí je poté transformováno z hodnoty 110 kV na hodnotu 6 kV pomocí transformátoru T105. Tato rozvodna napájí dále válcovnu „D“.

2.1.3 Rozvodna TIV s převodem napětí 110/22/6 kV

Tato rozvodna TIV je napájena elektrickou energií pomocí linek 110 kV, které pochází z rozvodny Ropice a z rozvodny Mnisztwo, jenž se nachází v Polsku. V rozvodně TIV se vyskytují čtyři trojvínutové transformátory s označením T108, T109 a T110 s převodem napětí 110/6/6 kV a T107 s převodem napětí 110/22/6 kV. Všechny tyto transformátory mají zdánlivý výkon o hodnotě 40 MVA. Dále je tu ještě jeden dvouvínutový transformátor s označením T106 s převodem napětí 110/22 kV o zdánlivém výkonu 43 MVA. Přes tento transformátor je rozvodna TIV spojena vedením s rozvodnou TII. V části, jenž nese název TIV 6 kV, se dodává elektrická energie generátorem s označením TG14 o výkonu 31,2 MVA.

2.1.4 Rozvodna RAB s převodem napětí 22/6 kV

Rozvodna RAB je provozována s dvojitým systémem přípojníc, jenž má zajištěnou dodávku elektrické energie z rozvodny TII 22 kV. Zabezpečuje dodávku elektrické energie pro severní část provozu VH. Tohle propojení obou rozveden zajišťují tři transformátory s označením TP1, TP2 a TP3, kde každý z těchto transformátorů má převod napětí 22/6 kV. Rozvodna RAB je členěna poté do tří částí, kde každou jednotlivou část napájí zmíněný jeden transformátor. V případě poruchy má každá tato část zajištěné rezervní napájení z rozvodny, která slouží pro elektrárnu EII. Rozvodna RAB se používá pro napájení slévárny, spojitě tratě, stripovacích hal ocelárny II a třech válcovacích tratí. Dále je v části o hodnotě napětí 6 kV zajištěna dodávka elektrické energie jednotlivým elektrickým motorům nebo je hodnota napětí přeměněna na velikost napětí 0,5 kV.

2.1.5 Rozvodna R2 6 kV

Je to kobková rozvodna, jejíž výstavba se uskutečnila v 80 letech. Zabezpečuje dodávku elektrické energie pro jižní část provozu VH. Zkratkou VH se označuje válcovna předvalků a hrubých profilů. Rozvodna R2 je umístěna v nejvyšším patře třípatrové budovy. V prostředním patře jsou umístěny skříňové rozvaděče s označením R3.1 a R3.2. Činnost rozvodny R2 spočívá v zajištění dodávky elektrické energie pro vratnou trať a blokovnu. Její součástí je 32 kobek, jenž se vyskytují ve dvou řadách, kde každá tato řada obsahuje 16 kobek. Dále je vybavena dvojitým systémem přípojníc s označením W_A a W_B , ve kterém je dále umožněno členění na další čtyři části pomocí podélné spojky. Také obsahuje i dva příčné spínače. Rozvodnu zásobují dva generátory s označením TG1 o výkonu 16 MVA a TG3 o výkonu 18,75 MVA. Dodávku elektrické energie má rozvodna R2 zajištěnou z rozvodny TIV pomocí třech přívodů a z rozvodny EII pomocí dvou přívodů. Z rozvodny TIV vedou přívody do kobek rozvodny R2 s označením 2, 30 a 31. Z rozvodny EII vedou přívody do kobek rozvodny R2 s označením 3 a 4. Dohromady má tedy tato rozvodna zabezpečenou dodávku z pěti kobek.

Celkový počet kobek v rozvodně R2 je 32. Používané nejsou všechny a některé slouží jen jako rezervy. Mezi využívané kobky patří 5 přírodních kobek, 2 kobky určené pro měření, 2 kobky pro příčné spínače, 1 kobka pro kompenzaci a několik vývodových kobek. Do kobky č. 16 je připojena zánovní kompenzace o hodnotě jalového výkonu 2,4 Mvar. Podélná spojka je vložena mezi kobkami, které se značí číslem 16 a 17. Kvůli tomu, že se v rozvodně R2 nachází dva systémy přípojníc, tak lze přívodem dodat elektrickou energii oběma přípojnícím. To samé platí pro všechny vývody, které mohou být napájeny z jakékoliv přípojnice. V případě výpadku elektrické energie na jedné přípojnici mají vývody zabezpečené napájení z druhé přípojnice. Jednotlivé kobky obsahují přípojnícové odpojovače, vývodové odpojovače, výkonové vypínače, elektrické ochrany, přístrojové transformátory proudu a napětí. Přehledové schéma rozvodny R2 je znázorněné v příloze s označením B.

3 Možnosti optimalizace rozvodů VH - kompenzace

3.1 Druhy kompenzačních prostředků pro rozvodnu R2

Do rozvodny R2 je v současnosti zapojený kompenzační rozvaděč o hodnotě jalového výkonu 2,4 Mvar. Nachází se v kobce č. 16. Jedná se o rozvaděč, který je řízený a má čtyři stupně. Tento rozvaděč však nedokáže pokrýt celou potřebu jalového výkonu nutnou pro správný chod rozvodny R2. To je hlavní důvod, proč je nutné vytvořit nový kompenzační rozvaděč, který se přidá do zmíněné rozvodny. Tím se zmenší ztráty v rozvodně vlivem dodání požadovaného kompenzačního výkonu.

Kompenzační prostředky používané pro kompenzaci jalového výkonu byly vysvětleny v kapitole výše. Je možné tedy použít buď rotační kompenzační zařízení, statické kompenzační zařízení nebo aktivní filtry.

Rotační kompenzátory se v současnosti příliš už nevyužívají, protože mají větší činné ztráty a jejich údržba je složitější při porovnání se statickými kompenzátory. Z toho důvodu lze tuto možnost vyloučit, protože se nehodí pro kompenzaci dané rozvodny. Mezi nejvhodnější možnost patří použití aktivních filtrů, protože jsou schopny kompenzovat jalovou energii, eliminovat harmonické atd. Nevýhodou jsou ale pořizovací náklady, které jsou podstatně větší než u statických kompenzátorů. Po finanční stránce je tedy tento způsob kompenzace nevhodný pro rozvodnu R2. Z důvodu toho se pro danou rozvodnu použijí statické kompenzátory. Jsou nejčastěji používané v sítích vysokého napětí a také jsou levnější než aktivní filtry. Mezi statické kompenzační prostředky patří statické kondenzátory, chráněné kompenzační sekce a kompenzační filtry. [9]

3.1.1 Statické kondenzátory

Na tyto kondenzátory se kladou určité nároky, které je nutné splnit při jejich použití v průmyslové síti. Požaduje se, aby kondenzátory byly spolehlivé v sítích, dále přepětově odolné a také aby vůči teplotě byly stabilní. Jejich využití je zejména v sítích VN a NN, kde úroveň energetického rušení dosahuje nízké hodnoty. [6]

Vzorce, které jsou popsány níže, budou platné pouze tehdy, jestliže velikost kapacity ve všech kondenzátorech bude totožná neboli lze říct, že trojfázové zapojení musí být symetrické. [9]

Pro jalový výkon kondenzátoru, který je jednofázový, platí vztah:

$$Q_C = U^2 \cdot \omega \cdot C \quad [\text{var}] \quad (3.1)$$

V trojfázové soustavě má kondenzátor, jenž je ve spojení do trojúhelníku, platný tento vztah:

$$Q_C = 3 \cdot U^2 \cdot \omega \cdot C_D \quad [\text{var}] \quad (3.2)$$

V trojfázové soustavě má kondenzátor, který je v zapojení do hvězdy, platný tento vztah:

$$Q_C = 3 \cdot U^2 \cdot \omega \cdot C_Y \quad [\text{var}] \quad (3.3)$$

U kondenzátorů hraje velmi zásadní roli jejich ztráty, podle kterých lze určit jejich kvalitu. Obecně platí, že čím jsou ztráty menší, tím je kondenzátor kvalitnější. Ztráty se obvykle skládají z těchto součástí, do kterých patří ztráty vybíjecího zařízení, dielektrika, pojistek apod. Hlavní veličina, která

představuje tyto ztráty, se značí $tg \delta$ a je nazývána tangentou ztrátového úhlu daného kondenzátoru. Tangenta ztrátového úhlu je veličina, která je teplotně závislá, což znamená, že se s teplotou bude měnit. Tangenta bude růst vždy v případech, kdy teplota se bude zvyšovat nebo kdy teplota se bude snižovat pod hodnotu 0 °C. Jestliže napětí bude mít průběh, který je sinusový, tak lze vyjádřit vzorec pro výsledné ztráty způsobené kondenzátorem: [9]

$$P_Z = tg\delta \cdot Q_C \quad [W] \quad (3.4)$$

Jestliže napětí bude mít průběh, jenž je neharmonický, tak je nutné do vztahu zahrnout všechny ztráty, které způsobili harmonické, čímž se získá výsledný vzorec pro ztráty kondenzátoru: [9]

$$P_S = 2 \cdot \pi \cdot C \cdot \sum_{n=1}^{\infty} n \cdot U_n^2 \cdot f_n \cdot tg\delta \quad [W] \quad (3.5)$$

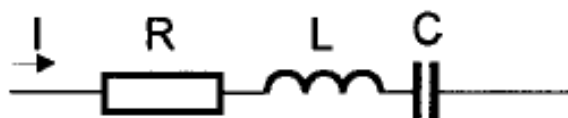
Dále se u kondenzátoru mění jejich impedance podle frekvence, kdy lze tuto závislost popsat vztahem, jenž se nachází níže. Jedná se o kapacitní reaktanci, jenž představuje jalovou složku zmíněné impedance kondenzátoru: [9]

$$X_C = \frac{1}{\omega \cdot C} \quad [\Omega] \quad (3.6)$$

V případě růstu kmitočtu se kapacitní reaktance snižuje. Jestliže se zapojí kondenzátor do průmyslové sítě, kde se vyskytují elektrické zdroje způsobující různé harmonické, tak bude pro tyto zdroje představovat připojený kondenzátor příliš malou hodnotu reaktance. Následkem je, že harmonické zvyšují výsledný proud, jenž prochází kondenzátorem, čímž se více zatěžuje nejen daný kondenzátor, ale také určitý úsek elektrické sítě vyskytující se mezi kondenzátorem a elektrickým zdrojem způsobující harmonické. Proto je v takových průmyslových sítích potřebné použít jako kompenzační prostředek chráněnou kompenzační sekci, která je popsána níže. [9]

3.1.2 Chráněná kompenzační sekce

Chráněná kompenzační sekce se skládá ze sériového zapojení odporu, kondenzátoru a ochranné tlumivky neboli jedná se o sériový RLC článek, jenž je znázorněny na obrázku č. 25. [9]



Obrázek 25: Schéma zapojení RLC článku. [9]

Všechny použité prvky, které se nacházejí v daném zapojení, jsou způsobilé fungovat ve velkém rozsahu kmitočtů. Z celého spektra frekvencí jsou podstatné hlavně dvě frekvenční veličiny. První veličina se nazývá rezonanční frekvence f_r a druhá se nazývá pracovní frekvence f_n . [9]

Poměr těchto dvou zmíněných frekvencí vyjadřuje veličinu, jenž se nazývá řád harmonické a označuje se n_r . Řád harmonické lze vypočítat pomocí tohoto vztahu: [9]

$$n_r = \frac{f_r}{f_n} \quad [-] \quad (3.7)$$

Důležitou veličinou pro výběr chráněné kompenzační sekce je činitel zatlumení, který se značí p . Většinou je jeho jednotka v procentech, ale také se může objevovat v poměrných hodnotách. Činitel zatlumení se udává podle tohoto vzorce: [9]

$$p = \frac{1}{n_r^2} \quad [-] \quad (3.8)$$

Aby bylo možné použít ochrannou tlumivku v daném zapojení, tak je nutné, aby reaktance tlumivky byla mnohem menší než reaktance kondenzátoru $X_L \ll X_C$. Pro reaktanci tlumivky pak lze napsat vztah: [9]

$$X_L = -p \cdot X_C \quad [\Omega] \quad (3.9)$$

Spojení kondenzátoru s tlumivkou se nazývá kompenzační článek. Jestliže bude platit předpoklad, že frekvence f je nižší než rezonanční frekvence f_r , tak to znamená, že reaktance kompenzačního článku bude mít menší hodnotu než původní reaktance použitého kondenzátoru. Pro reaktanci kompenzačního článku platí vztah: [9]

$$X_{LC} = (1 - p) \cdot X_C \quad [\Omega] \quad (3.10)$$

Při návrhu kompenzačního kondenzátoru je třeba brát v úvahu, že reaktance ochranné tlumivky způsobí nárůst napětí na kondenzátoru, ke kterému se zapojila. Z toho důvodu se kompenzační kondenzátory projektují na zvýšené napětí, jenž má obvykle hodnotu napětí $U_{CN} = 440 \text{ V}$, čímž se zajistí, že daný nárůst napětí je respektován. Vzorec pro napětí kondenzátoru pak je: [9]

$$U_C = \frac{U_S}{1-p} \quad [\text{V}] \quad (3.11)$$

Reaktanci kompenzačního kondenzátoru pak lze určit pomocí vztahu:

$$X_C = \frac{U_{CN}^2}{Q_C} \quad [\Omega] \quad (3.12)$$

Jestliže hodnota napětí kompenzačního kondenzátoru není stejná s hodnotou napětí sítě, tak je nutné přepočítat výkon daného kondenzátoru. Pro výkon kompenzačního kondenzátoru s odlišným napětím U_2 platí vzorec: [9]

$$Q_2 = Q_1 \cdot \left(\frac{U_2}{U_1}\right)^2 \cdot \left(\frac{\omega_2}{\omega_1}\right) = Q_1 \cdot \left(\frac{U_2}{U_1}\right)^2 \cdot \left(\frac{f_2}{f_1}\right) \quad [\text{var}] \quad (3.13)$$

Platí podmínka, že jestliže před kondenzátor zapojíme tlumivku, tak jeho vypočtený kompenzační výkon bude vždy menší, než je výkon napsaný na štítku daného kondenzátoru. Z toho důvodu je potřeba, aby se výkon kondenzátoru, jenž je znázorněn na štítku, přepočítal na reálně odpovídající kompenzační výkon. [6]

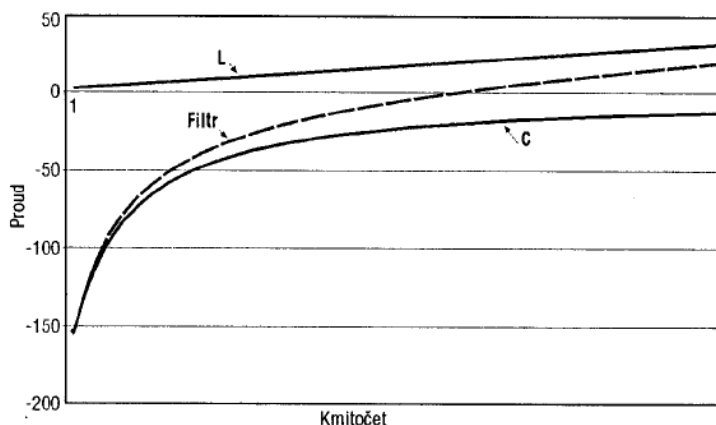
Chráněné kompenzační sekce se používají hlavně v elektrických sítích, ve kterých se nacházejí spotřebiče, jenž vytvářejí harmonické proudy, ale také je lze použít v sítích, kde se vyskytují obvyklé elektrické spotřebiče. Zmíněné harmonické proudy nedosahují v těchto sítích takové velikosti, aby je bylo nutné odstranit, jen se zajišťuje, aby kompenzační kondenzátory byly ochráněny před proudovým přetěžováním, které způsobují jmenované harmonické. [9]

3.1.3 Výkonové kompenzační filtry

Kompenzační filtry se používají jak pro kompenzaci jalové energie a zároveň také k eliminování harmonických proudů. Jedná se o výkonový LC filtr v sériovém spojení, jenž vytváří rezonanční obvod v podobě sériového zapojení RLC prvků. Pro impedanci zmíněného rezonančního obvodu lze napsat vzorec: [9]

$$Z = R + j \left(\omega \cdot L - \frac{1}{\omega \cdot C} \right) \quad [\Omega] \quad (3.14)$$

Na obrázku č. 26 jsou znázorněny kmitočtové charakteristiky, které jednotlivě patří reaktanci tlumivky, reaktanci kondenzátoru a reaktanci sériového LC filtru. V kmitočtové charakteristice LC filtru je podstatná hlavně jedna veličina, jenž nese název rezonanční kmitočet filtru a značí se ω_r . Tato veličina se zjistí prostřednictvím průsečíku s osou kmitočtu. Jestliže kompenzační filtr má kmitočet $\omega < \omega_r$, tak se kompenzační filtr bude chovat stejně jako kondenzátor neboli bude vykazovat kapacitní charakter. Když bude mít kompenzační filtr kmitočet $\omega > \omega_r$, tak se kompenzační filtr bude prezentovat totožně jako tlumivka neboli bude vykazovat induktivní charakter. [9]



Obrázek 26: Kmitočtová charakteristika reaktance kondenzátoru, tlumivky a LC filtru. [9]

3.2 Možnosti řízení kompenzačního výkonu pro rozvodnu R2

U statických kompenzátorů se pro řízení jejich kompenzačního výkonu využívají dva způsoby:

- Stupňovité ovládání, které se dále rozděluje na kontaktní a bezkontaktní.
- Plynulé ovládání jalového proudu s využitím dekompenzačních členů. [9]

3.2.1 Stupňovitě ovládané kompenzační prostředky

U tohoto řízení je vždy podstatné provést vhodný výběr stupňů, kdy je nutné zvolit jednak jejich velikost a jednak jejich celkové množství. Zmíněný výběr stupňů se vykonává u kontaktních kompenzačních prostředků a také u bezkontaktních kompenzačních prostředků. [9]

Výsledný počet stupňů se volí podle celkové hodnoty vyžadovaného kompenzačního výkonu, dále dle hodnoty velikosti jednoho stupně a také podle hodnoty účinníku, jenž se požaduje dosáhnout. Vyžadovaná hodnota účinníku je obvykle $\cos \varphi_0 \geq 0,95$, což je po převedení $\tan \varphi_0 \leq 0,33$. Jestliže mají jednotlivé stupně totožný kompenzační výkon, pak k získání vyžadované hodnoty účinníku, je nutné mít splněný tento vztah: [9]

$$\tan \varphi_0 \geq \frac{Q_L - N \cdot Q_{C1}}{P} \quad [-] \quad (3.15)$$

Výsledné množství stupňů kompenzačního prostředku N se zjistí podle tohoto vztahu:

$$N \geq \frac{Q_L - P \cdot \tan \varphi_0}{Q_{C1}} \quad [-] \quad (3.16)$$

V praxi většinou nemají jednotlivé stupně totožnou velikost. Obvykle se nejdříve stanoví stupeň, který bude mít nejmenší velikost kompenzačního výkonu a poté podle této velikosti se vybírají následující stupně jako jeho násobky. [9]

3.2.1.1 Kontaktní kompenzátory

Řízení těchto kontaktních kompenzačních prostředků je založeno na principu, ve kterém se postupně připínají jednotlivé statické kondenzátory či chráněné kompenzační sekce na průmyslovou síť, kterou je potřeba vykompenzovat. Dané připínání probíhá podle příkazů, které vydává regulátor jalového výkonu. Využití kontaktních kompenzačních zařízení spolu se statickými kondenzátory je hlavně v průmyslových sítích, ve kterých se neobjevují harmonické složky proudu a ve kterých nejsou vyžadovány velké požadavky na rychlou změnu kompenzačního výkonu. [9]

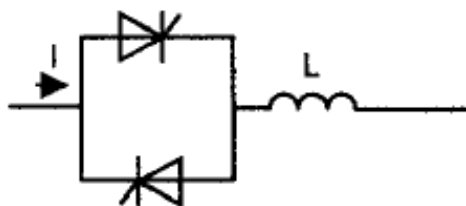
Kontaktní kompenzátory mají určité nevýhody. Například při nesynchronním spínání dochází u kontaktních kompenzačních prostředků k tomu, že se během jejich sepnutí vytvoří rušivé jevy, které na elektrickou síť působí jako zpětný vliv. To má za následek, že dochází k impulsnímu rušení regulačních, výpočetních a měřících přístrojů či zařízení. Další nevýhodou u těchto kompenzátorů je ve využívání stykačů. Je to hlavně z toho důvodu, že se mohou vytvořit proudové přechodové jevy, a to hlavně během nepřesně určeného připnutí statického kondenzátoru na průmyslovou síť. Jako přechodový jev je myšleno proudový ráz, jehož velikost může narůst až na třicetnásobek I_N . [9]

3.2.1.2 Bezkontaktní kompenzátory

U bezkontaktních kompenzátorů se nepoužívají stykače jako to bylo u kontaktních kompenzátorů, ale využívají se zde bezkontaktní spínací prvky. Tyto kompenzátory se užívají hlavně v sítích, kde se vyžadují větší požadavky na rychlost kompenzace. Z toho důvodu, je potřebné mít k dispozici regulátor jalového výkonu, který je rychlejší ve srovnání s předchozím způsobem. U regulátoru jalového výkonu závisí jeho rychlost regulace kompenzačního výkonu na algoritmu, jenž využívá. Regulace kompenzačního výkonu je zde založena na obdobném principu jako to bylo u kontaktních kompenzátorů, jen s tím rozdílem, že připínání jednotlivých statických kondenzátorů nebo chráněných kompenzačních sekcí na průmyslovou síť se zde provádí výrazně rychleji. Obvykle se v zapojení zapojují ochranné tlumivky před kondenzátory. [9]

3.2.2 Plynule ovládané kompenzační prostředky

Jestliže je potřeba plynule regulovat jalový proud, tak je nutné použít v zapojení dekompenzační tlumivku, kde pomocí fázového řízení proudu, který danou tlumivkou protéká, lze vykonat požadovanou regulaci jalového proudu. Fázové řízení proudu tlumivky zajišťuje v zapojení tyristorový spínač, jenž je v antiparalelním spojení. Schéma obvodu je znázorněné na obrázku č. 27. Zmíněný obvod je schopen regulovat induktivní proud od nuly až do nejvyšší hodnoty, která je dána impedancí dekompenzační tlumivky.

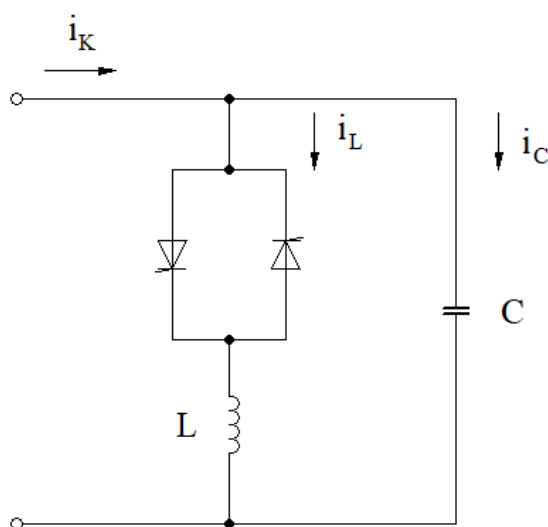


Obrázek 27: Schéma zapojení sloužící pro fázové řízení induktivního proudu. [9]

Pro induktivní proud tlumivky platí vztah: [9]

$$I_{Lmax} = \frac{U_S}{\omega \cdot L} \quad [A] \quad (3.17)$$

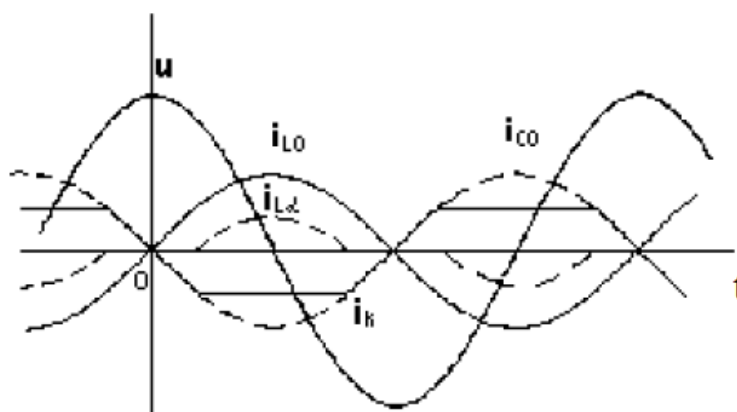
V případě, že je potřeba regulovat kapacitní proud, tak to nelze vyřešit jenom tím, že se v zapojení, které je na obrázku č. 27, vymění pouze dekompenzační tlumivka za kondenzátor, jehož proud by se následně fázově řídil pomocí tyristorového spínače. Je to z důvodu toho, že by se v zapojení vytvořily potíže s přechodovými jevy. Pro odstranění těchto potíží existuje jednoduché řešení, kdy stačí pouze připojit paralelně kondenzátor k zapojení, které je znázorněno na obrázku č. 27. Takhle vytvořený obvod je nakreslený na obrázku č. 28. [9]



Obrázek 28: Schéma zapojení sloužící pro fázové řízení kapacitního proudu. [9]

Jestliže je proud kondenzátoru i_C větší, než je proud tlumivky i_L , tak lze pro kompenzační proud i_K napsat vztah: [9]

$$I_K = I_C - I_L \quad [A] \quad (3.18)$$

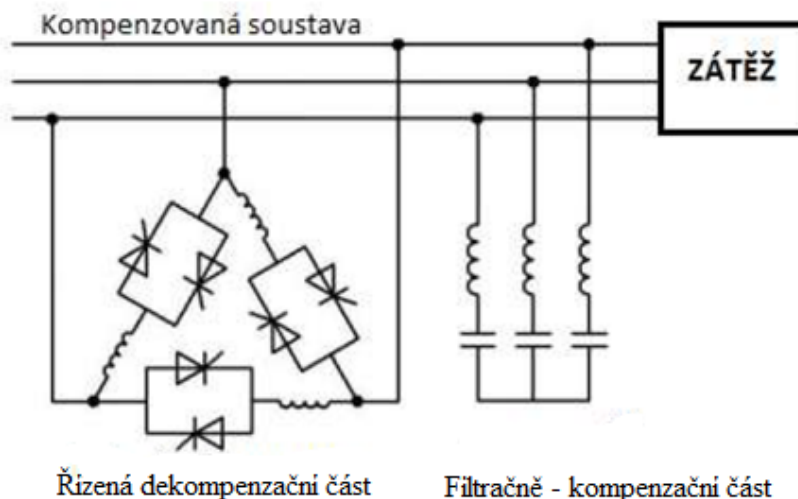


Obrázek 29: Průběhy napětí a proudů v závislosti na čase. [9]

Jak již to bylo jednou zmíněno výše, lze pomocí tyristorů, které jsou v antiparalelním spojení, spínat připojený kondenzátor. Potíž ale je, že při daném spínání vznikají problémy s přepětovými jevy. Z toho důvodu je tento problém vyřešen tím, že se místo kondenzátoru spíná tlumivka, přičemž

kondenzátor se nechává trvale připojit do daného zapojení. Hodnota kompenzačního výkonu se mění podle veličiny, která se nazývá úhel zpoždění a označuje se α . Tato veličina vzniká během sepnutí tyristorů. Na obrázku č. 29 jsou znázorněny průběhy napětí a proudů v závislosti na čase. V případě největšího otevření, což odpovídá úhlu zpoždění $\alpha = 0$, má kapacitní proud a induktivní proud stejnou velikost, ale kvůli tomu, že oba proudy jsou v protifázi, tak celkový kompenzační výkon vychází s nulovou hodnotou. Při $\alpha = \pi/2$ prochází tlumivkou maximální hodnota induktivního proudu. Při $\alpha = \pi$ protéká tlumivkou nulová hodnota induktivního proudu. Na obrázku č. 29 lze vidět, že účinek kapacitního proudu i_c se projevuje tehdy, když nastává zavírání proudu tlumivky i_L , což má vliv na kompenzační zařízení, které tím zahájí dodávání kompenzačního proudu i_k . [9]

Daný princip kompenzace se využívá většinou v trojfázové soustavě, kde se obvykle dekompenzační člen zapojuje do trojúhelníkového spojení, čímž se snižuje jeho zpětný vliv na průmyslovou síť, která se kompenzuje. Zapojení do hvězdy se příliš nepoužívá. Je to z toho důvodu, že by tlumivkou, tyristorovým spínačem a veškerými fázovými vodiči procházel totožný proud. Kvůli tomu, by všemi fázovými vodiči protékaly proudy těchto harmonických, jenž jsou zahrnuty ve fázově ovládaném proudu tlumivky. [9]



Obrázek 30: Schéma obvodu zahrnující dekompenzační člen a plynule ovládaný kompenzátor. [9]

V dnešní době je potřeba kromě kompenzování jalové energie, také zároveň filtrovat harmonické. Z toho důvodu se v zapojení místo kondenzátorů využívají filtry, které přísluší pro jednotlivé harmonické. Na následujícím obrázku č. 30 je znázorněno schéma obvodu, ve kterém je zapojeno plynule ovládané trojfázové kompenzační zařízení a dekompenzační člen. Trojfázové kompenzační zařízení se v daném obvodu realizuje jako soustava několika LC filtrů. Jako ideální řešení se nabízí v každé fázi užít LC filtr pro 5., 7. harmonickou a následně pro 11., 13. harmonickou. Podle charakteru nelineární zátěže, kterou je nutné kompenzovat, se rozděluje kompenzační výkon na jednotlivých filtrech ve vhodném poměru. Například pro šestipulsně ovládaný usměrňovač se kompenzační výkon člení v poměru 3:2:1:1 pro filtry výše jmenovaných harmonických. Použití těchto plynule ovládaných kompenzačních zařízení je zásadně v průmyslových sítích, ve kterých se kompenzační výkon obměňuje ve velmi vysoké rychlosti. [9]

4 Zjištění výkonových poměrů na rozvodně R2

Do rozvodny R2 bude připojen nově navrhnutý kompenzační rozvaděč. Z toho důvodu je nutné zjistit, jaké výkonové poměry se v dané rozvodně R2 vyskytují. Bylo provedeno měření na rozvodně R2 nacházející se na hladině napětí 6 kV tak, aby se z naměřených hodnot zjistilo, jakou hodnotu kompenzačního výkonu bude potřebné dodat do zmíněné rozvodny R2 a také jaký typ statického kompenzátoru a způsob regulace bude vhodné použít do rozvodny. Přehledové schéma rozvodny R2 je znázorněné v příloze s označením B.

Pro vhodný návrh kompenzačního rozvaděče je nutné mít k dispozici informace o parametrech týkající se dané rozvodny R2. Jako je činný výkon, jalový výkon, zdánlivý výkon, účinník a některé charakteristiky průmyslové sítě, které jsou určeny normou ČSN 61000-2-4. Jedná se o normu, která udává kompatibilní úroveň pro střídavé neveřejné elektrické sítě a pro střídavé průmyslové elektrické sítě až do jmenovitého napětí o hodnotě 35 kV při frekvenci 50 Hz či 60 Hz. V této kapitole bude hodnocena kompatibilní úroveň týkající se odchylek napětí. Parametry průmyslové sítě byly změřeny pomocí měřicího přístroje, který se nazývá analyzátor elektrických sítí QUALISTAR – C.A 8334. Tento přístroj je podrobněji popsán v následující kapitole. [13]

4.1 Popis měřicího přístroje

K změření jednotlivých parametrů sítě se jako měřicí přístroj použil analyzátor elektrických sítí, jenž nese název QUALISTAR – C.A 8334. Tento analyzátor vyrobil francouzský podnik CHAUVIN ARNOUX. Jedná se o třífázový analyzátor, který umožňuje získat obraz důležitých charakteristik ze stejnosměrné a střídavé sítě. Dále je také schopen monitorovat a diagnostikovat elektrickou síť. Napájení má zajištěno buď z elektrické sítě 230 V nebo má v sobě zabudovaný akumulátor. [11] [12]

Činnost měřicího přístroje je rozdělena do šesti režimů, které jsou vysvětleny níže. Jedná se o tyto režimy: [12]

- **Režim harmonické analýzy**

V tomto režimu se analyzují jednotlivé harmonické složky proudu a napětí. Přístroj je schopen analyzovat až do 50. harmonické. [12]

- **Režim měření**

V režimu měření dokáže měřicí přístroj naměřit hodnoty TRMS napětí a proudu. U fázových střídavých napětí je schopen měřit až do hodnoty 480 V. U sdružených střídavých napětí až do hodnoty 960 V a u střídavého proudu až do velikosti 6500 A. Označení „TRMS“ znamená skutečné efektivní hodnoty. Dále je schopen změřit frekvenci v rozmezí od 10 Hz až do 70 Hz. Tento režim také umožňuje vypočítat určité parametry jako například proud nulového vodiče, celkové harmonické zkreslení THD, průměrné hodnoty, fázovou nesymetrii apod. [12]

- **Režim přechodných jevů**

Analyzátor elektrických sítí je schopen v tomto režimu zaznamenat zapínací proudy, proudové špičky apod. [12]

- **Režim výkonové analýzy**

Jedná se o režim, ve kterém je měřicí přístroj schopen změřit činný výkon P , jalový výkon Q , zdánlivý výkon S a účinník $\cos\varphi$. [12]

- **Režim záznamu**

V režimu záznamu lze na delší dobu monitorovat parametry elektrické sítě. Celkový počet, který lze pozorovat, může být až 22 parametrů. [12]

- **Režim alarmů**

Režim alarmů dokáže zaznamenat případ, kdy nastane překročení nastavených mezních hodnot. [12]



Obrázek 31: Třífázový analyzátor elektrických sítí QUALISTAR – C.A 8334. [12]

4.2 Kompatibilní úrovně pro střídavé sítě dle normy ČSN 61000-2-4

Jak již to bylo jednou zmíněno výše, jedná se o normu ČSN 61000-2-4, která udává kompatibilní úrovně pro střídavé neveřejné elektrické sítě a pro střídavé průmyslové elektrické sítě až do jmenovitého napětí o hodnotě 35 kV při frekvenci 50 Hz či 60 Hz. Tyto kompatibilní úrovně jsou určeny v napájecím bodě, který se označuje IPC, nacházející se uvnitř průmyslových podniků. Kompatibilní úroveň lze formulovat v podstatě tak, že se jedná o úroveň rušení. [7]

4.2.1 Třídy elektromagnetického prostředí

Dané úrovně lze členit na tři odlišné třídy elektromagnetického prostředí: [7]

- **Třída 1**

Třída 1 stanovuje kompatibilní úrovně pro chráněné napájení. Jsou to elektrické zařízení, které se vyznačují velkou náchylností na rušení vyskytující se v napájecí síti. Do této třídy patří například

počítač, elektrické laboratorní přístroje, ochranné elektrické zařízení apod. Tyto kompatibilní úrovně jsou menší než úrovně nacházející se ve veřejné distribuční síti. [7]

- **Třída 2**

Daná třída udává kompatibilní úrovně pro společné napájecí body vyskytující se ve veřejné distribuční síti označované jako PCC a pro napájecí body nacházející se uvnitř sítě v průmyslovém podniku označované jako IPC. Tyto úrovně jsou totožné jako úrovně vyskytující se ve veřejné distribuční síti. [7]

- **Třída 3**

Tato třída stanovuje kompatibilní úrovně jenom pro napájecí body IPC, jenž se nacházejí v průmyslovém podniku. Využívá se například při chodu svářeček, při rozbíhání větších elektrických motorů, při dynamických změnách zatížení apod. [7]

4.2.2 Posuzovaná charakteristika

- **Odchylka napájecího napětí**

Odchylku napájecího napětí lze definovat jako zvýšení či snížení efektivní hodnoty napájecího napětí. Odchylka napětí se většinou stanovuje v procentech. Příčinou této odchylky jsou obvykle obměny zátěže v elektrické síti. Jestliže se překročí dovolené tolerance odchylek napětí, tak v případě přepětí nastává u kondenzátorů jejich zvětšené oteplování, což má za následek zkrácení jejich životnosti. V tabulce č. 1 jsou uvedeny dovolené kompatibilní úrovně pro jednotlivé třídy, které je nutné dodržovat. Pro měření na rozvodně R2 se bude uvažovat třída 2. [7] [16]

Tabulka 1: Kompatibilní úrovně pro jednotlivé třídy. [7]

Rušení	Třída 1	Třída 2	Třída 3
Odchylka napětí vztažena k jmenovitému napětí U_N	+8 %	± 10 %	+10 % až -15 %

4.3 Výsledky naměřených hodnot na rozvodně R2

Z naměřených hodnot se sestaví časové průběhy, ze kterých se zjistí potřebné výsledné hodnoty, které budou tvořit základní podklady pro navrhnutí nového kompenzačního rozvaděče pro rozvodnu R2.

Hodnoty se změřily na třech přírodních kobkách, které napájely rozvodnu R2. K této rozvodně jsou připojeny paralelně. Jedná se o kobky s označením 2, 30 a 31. Měření se uskutečnilo za normálního provozu. Nejdříve se během třech dnů změřily hodnoty při odstavení stávajícího kompenzačního rozvaděče neboli nebyla tam provedena žádná kompenzace. Poté se připojil zmíněný kompenzační rozvaděč do rozvodny R2 a znovu se uskutečnilo stejné měření během dalších třech dnů, jen s tím rozdílem, že už zde byla prováděna určitá kompenzace. Obě měření byly naměřena již zmíněným analyzátozem elektrických sítí QUALISTAR – C.A 8334. Hodnoty byly změřeny v měřicím intervalu po pěti sekundách.

Měřicí přístroj zaznamenal tyto parametry sítě:

- Napájecí napětí U a proud I . Jedná se o efektivní hodnoty
- Činný výkon P
- Jalový výkon Q
- Zdánlivý výkon S
- Opravdový účinník PF , kde zkratka PF znamená „Power Factor“.

Změřené hodnoty byly dále exportovány do programu Microsoft Excel, což je tabulkový software od firmy Microsoft. V daném programu se naměřené hodnoty upravily a vykreslily do časových průběhů, které jsou znázorněny v další podkapitole. Byly použité statistické funkce „LARGE“ a „SMALL“ pro porovnání a vyhodnocení naměřených hodnot se zmíněnou normou ČSN 61000-2-4.

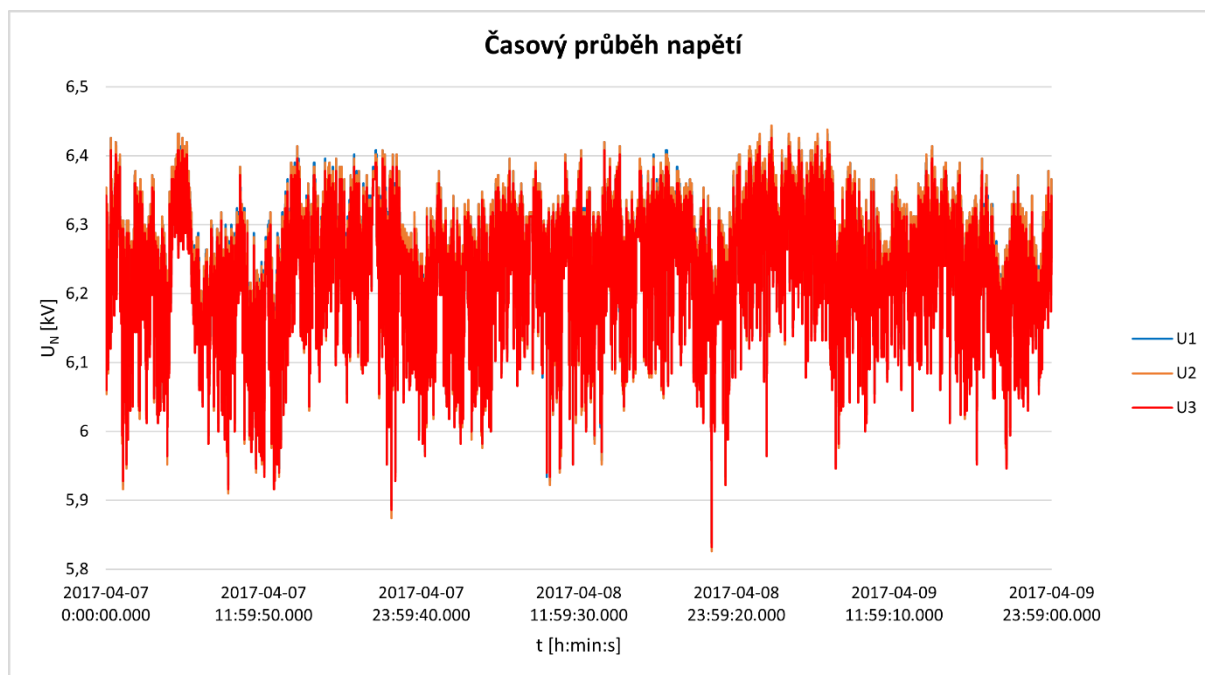
V následujících podkapitolách budou popsány a znázorněny časové průběhy změřených hodnot pro oba naměřené stavy (bez kompenzace a s kompenzací). Nejsou zde popsány jednotlivě všechny tři přívodní kobky, protože by to bylo jednak příliš obsáhlé a jednak by se víceméně ke každé přívodní kobce psalo o tom stejném. Z toho důvodu postačí vysvětlit pouze jednu kobku jako například přívodní kobku č. 2. V závěrečné podkapitole se všechny tři přívody paralelně sečtou dohromady a získají se výsledné potřebné hodnoty výkonů. Paralelní součet je možný ale pouze v případě, že se měření uskutečnilo na všech třech přívodech ve stejnou dobu a se stejným měřicím intervalem, což tohle měření splňuje.

4.3.1 Naměřené hodnoty na přívodní kobce č. 2

4.3.1.1 Změřené hodnoty bez kompenzace

Měření při odstavení stávajícího kompenzačního rozvaděče.

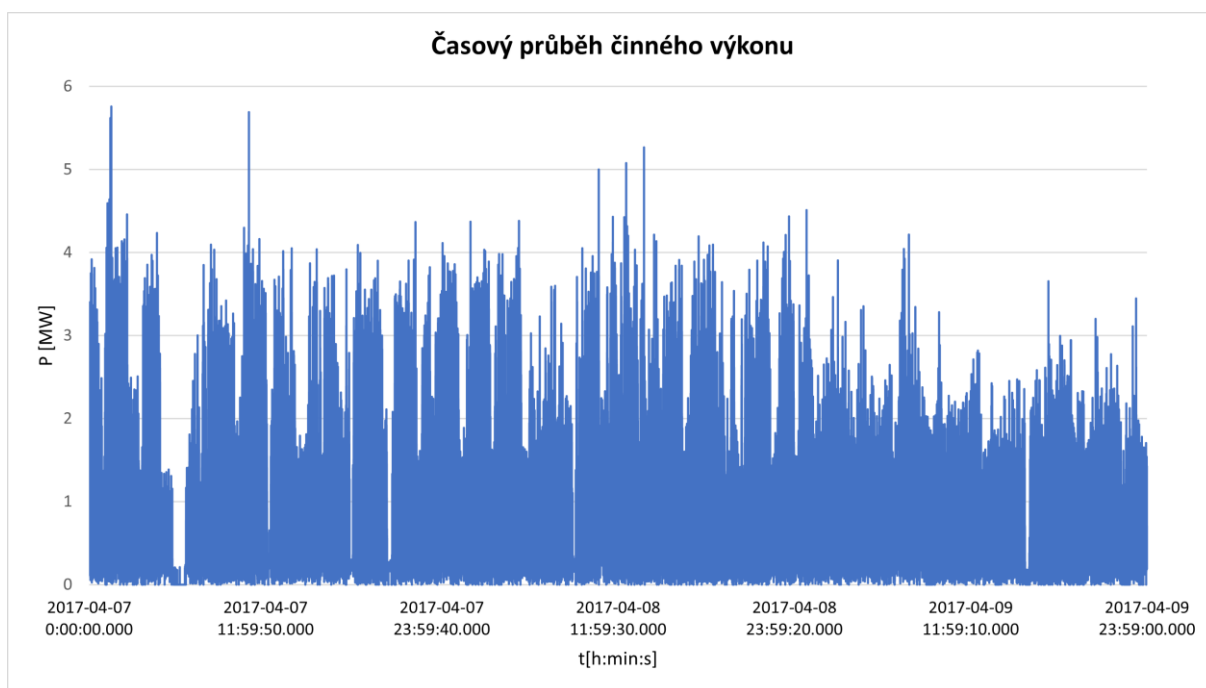
- Časový průběh napětí



Obrázek 32: Časový průběh napětí na přívodní kobce č. 2.

Na obrázku č. 32 je znázorněný časový průběh napětí na přívodní kobce č. 2. Odchyšky napětí se budou vyhodnocovat podle 2 třídy, která byla již popsána v předešlé podkapitole. Pro odchyšky napětí platí dovolená hodnota $\pm 10 \%$, což znamená, že za normálního provozu musejí být naměřené efektivní hodnoty napětí ve zmíněném rozsahu $U_N \pm 10 \%$. Po provedeném vyhodnocení a vykreslení daného časového průběhu lze říct, že dovolená hodnota napájecího napětí v rozsahu $\pm 10 \%$ nebyla přesáhnuta v celém změřeném časovém průběhu napětí. Vyhodnocené odchyšky napětí se od jmenovitého napětí $U_N = 6,3 \text{ kV}$ pohybovaly v rozsahu od $-7,53 \%$ U_N do $+2,29 \%$ U_N , což lze také napsat ve tvaru od -474 V do $+144 \text{ V}$.

- Časový průběh činného, jalového a zdánlivého výkonu



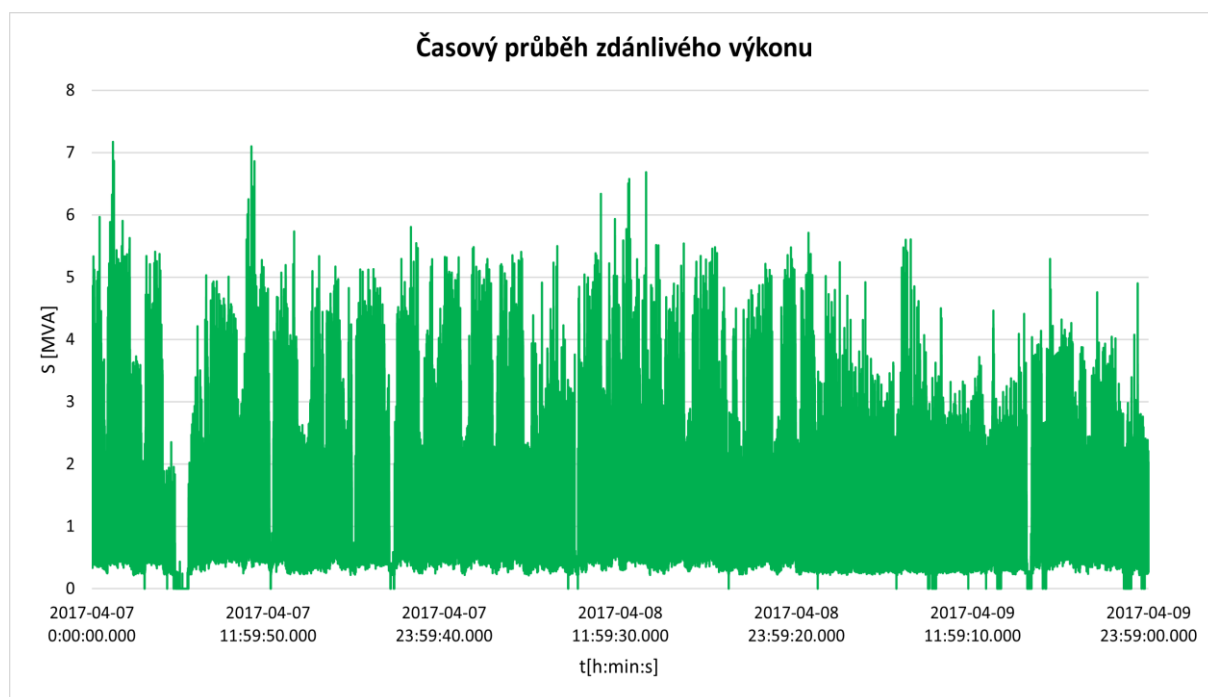
Obrázek 33: Časový průběh činného výkonu na přívodní kobce č. 2.



Obrázek 34: Časový průběh jalového výkonu na přívodní kobce č. 2.

Časový průběh činného a jalového výkonu je velmi důležitý pro stanovení požadavků na potřebný kompenzační výkon a také pro vybrání způsobu řízení daného výkonu. Tyto průběhy jsou znázorněny na obrázku č. 33 a č. 34. U časových grafů jalového, činného a zdánlivého výkonu si lze všimnout, že průběhy se velmi podobají a mají opakující se oblasti v daném čase.

Jestliže se jalový výkon dá do poměru s činným výkonem, tak vzniká bezrozměrná veličina, která se značí $\tan \varphi$. Tato veličina je velmi důležitá z hlediska výpočtu cenové přírážky při nesplnění stanovené úrovně. U odebíraného jalového výkonu je zřetelnější k jeho posouzení používat veličinu $\cos \varphi$, kterou lze definovat jako poměr činného výkonu a zdánlivého výkonu. Časový průběh zdánlivého výkonu je vykreslený na obrázku č. 35.

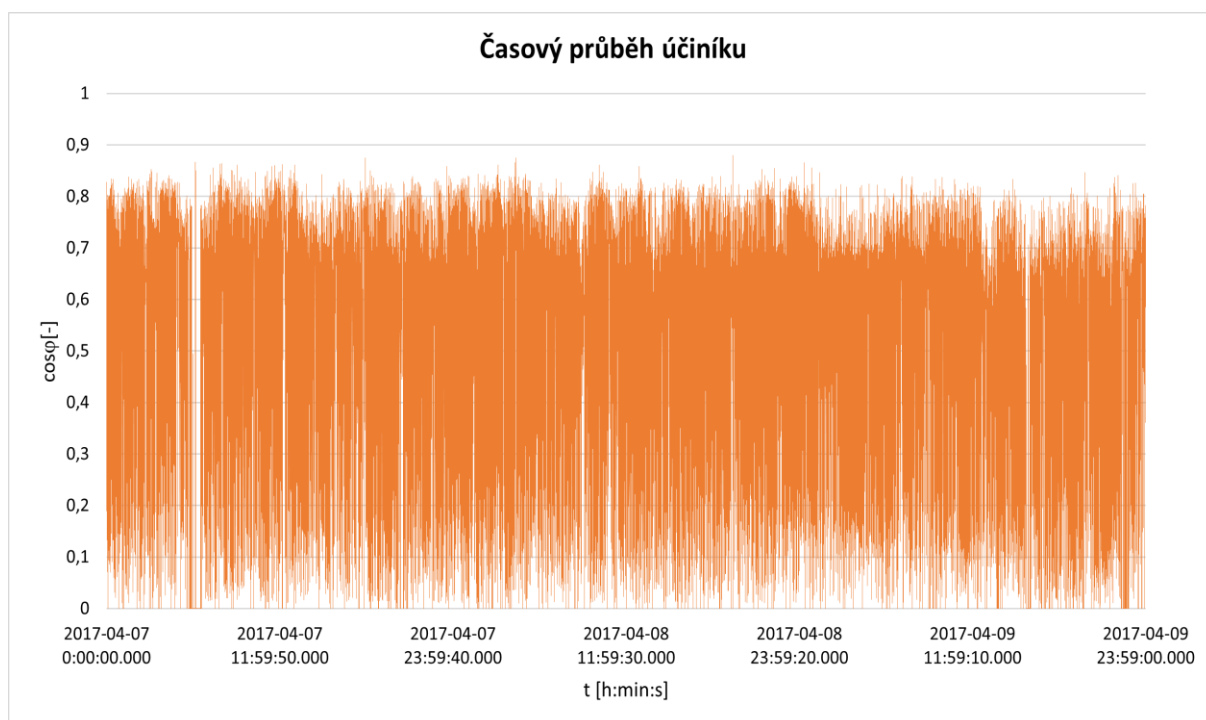


Obrázek 35: Časový průběh zdánlivého výkonu na přírodní kobce č. 2.

- **Časový průběh účinníku**

Analýzátor elektrických sítí při měření zaznamenával hodnoty opravdového účinníku v dané přírodní kobce. Jedná se o veličinu, která zahrnuje kromě ostatních výkonů také deformační výkon, což znamená, že zahrnuje vliv harmonických složek napětí a proudů. Po vyhodnocení klasického účinníku $\cos \varphi$, který lze chápat jako fázový posuv mezi 1. harmonickou proudem a napětím, lze zjistit, že oba účinníky mají podobné hodnoty, takže je lze považovat za totožné. Je to způsobeno nejspíše tím, že v dané síti je nízká velikost činitele harmonického zkreslení. Časový průběh účinníku je na obrázku č. 36. Z tohoto průběhu lze zjistit, že účinník nedosahuje požadované předepsané úrovně $\cos \varphi = 0,95$ v celém průběhu měření. Dost hodnot se vyskytovalo pod hranicí $\cos \varphi < 0,5$, což při takové hodnotě účinníku mají ztráty způsobené jalovou složkou proudu třikrát větší hodnotu než ztráty, které zapříčinila činná složka. Výjimečné nebyly ani hodnoty účinníku pod hranici $\cos \varphi < 0,3$. Dosáhnutím takové hodnoty účinníku znamená, že ztráty způsobené jalovou složkou jsou už desetkrát větší než ztráty, které zapříčinila činná složka. Jestliže je hodnota účinníku nižší než 0,95, tak to znamená, že spotřebitel elektrické energie musí

zaplatit distributorovi této energie cenovou přírážku, jenž je určená podle druhu sazby a zavádí se v procentech. [1] [6]

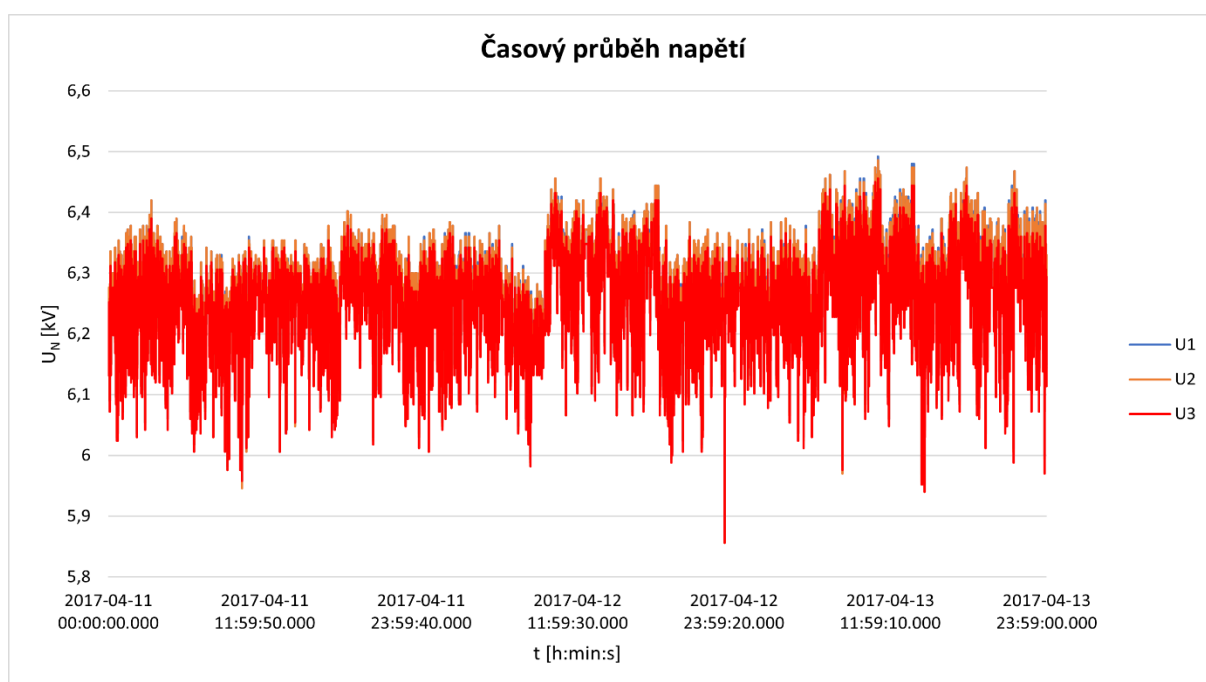


Obrázek 36: Časový průběh účinníku na přívodní kobce č. 2.

4.3.1.2 Změřené hodnoty s připojenou kompenzací

Měření s připojeným kompenzačním rozvaděčem.

- Časový průběh napětí

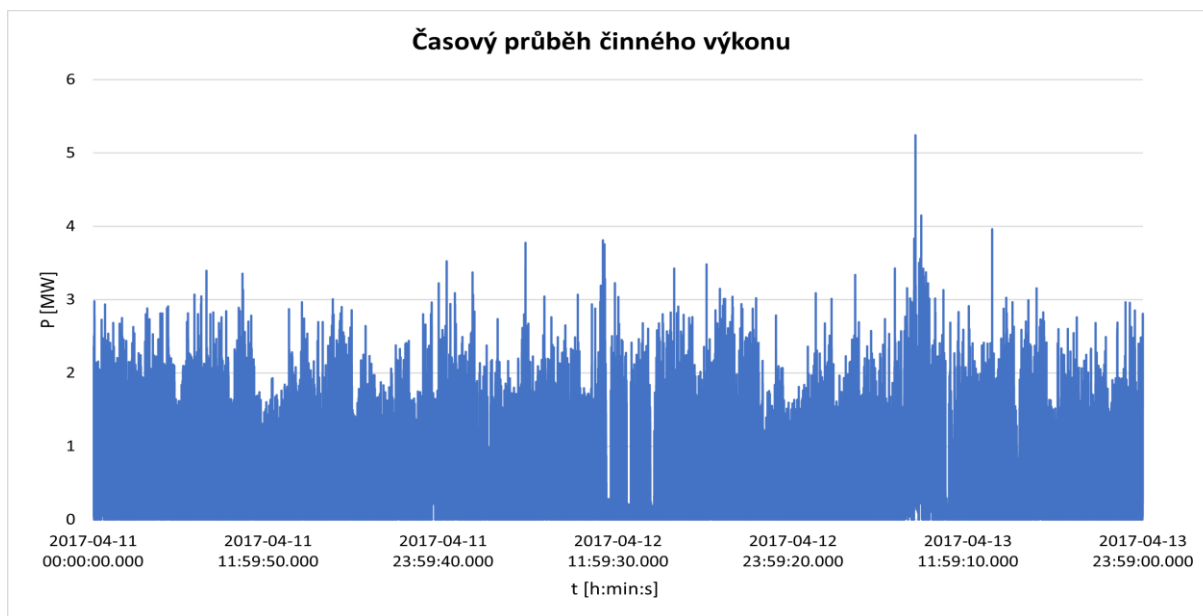


Obrázek 37: Časový průběh napětí na přívodní kobce č. 2 s připojenou kompenzací.

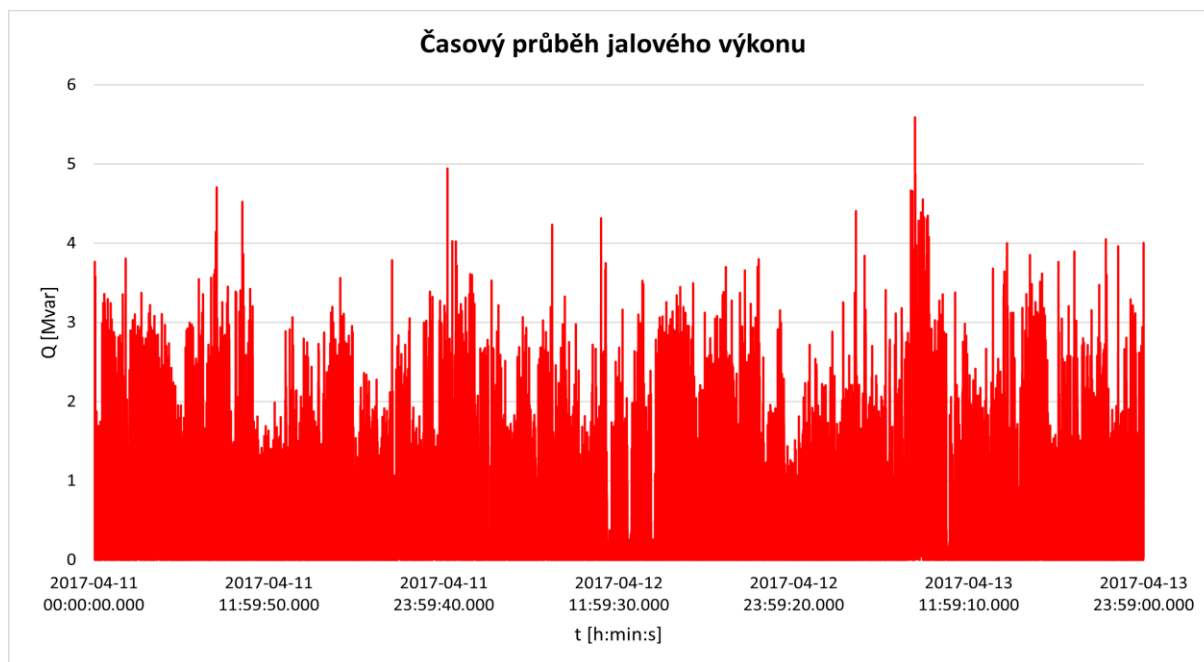
Časový graf napětí na přívodní kobce č. 2 je vykreslený na obrázku č. 37. Pro odchylky napětí platí již zmíněný dovolený rozsah $U_N \pm 10 \%$. Po vykreslení daného časového průběhu lze konstatovat, že předepsaná hodnota napětí v rozsahu $\pm 10 \%$ nebyla překročena v celém naměřeném průběhu napětí. Vypočítané odchylky napětí se od jmenovitého napětí $U_N = 6,3 \text{ kV}$ vyskytovaly v rozmezí od $-7,05 \%$ U_N do $+3,05 \%$ U_N neboli od -444 V do $+192 \text{ V}$.

- **Časový průběh činného, jalového a zdánlivého výkonu**

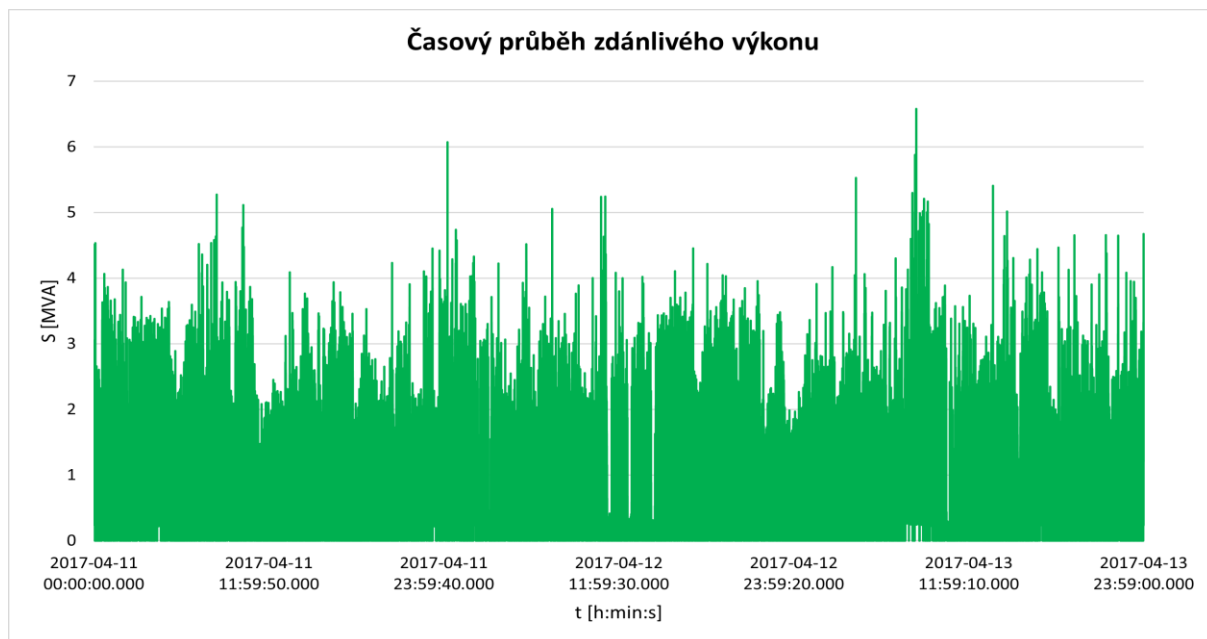
Časový graf činného, zdánlivého a jalového výkonu je vykresleny na obrázku č. 38, č. 39 a č. 40. Stejně jak to bylo v předcházející podkapitole, kde se měřila přívodní kobka č. 2 bez připojené kompenzace, tak i zde mají všechny tyto průběhy obdobný tvar s opakujícími se oblastmi.



Obrázek 38: Časový průběh činného výkonu na přívodní kobce č. 2 s připojenou kompenzací.



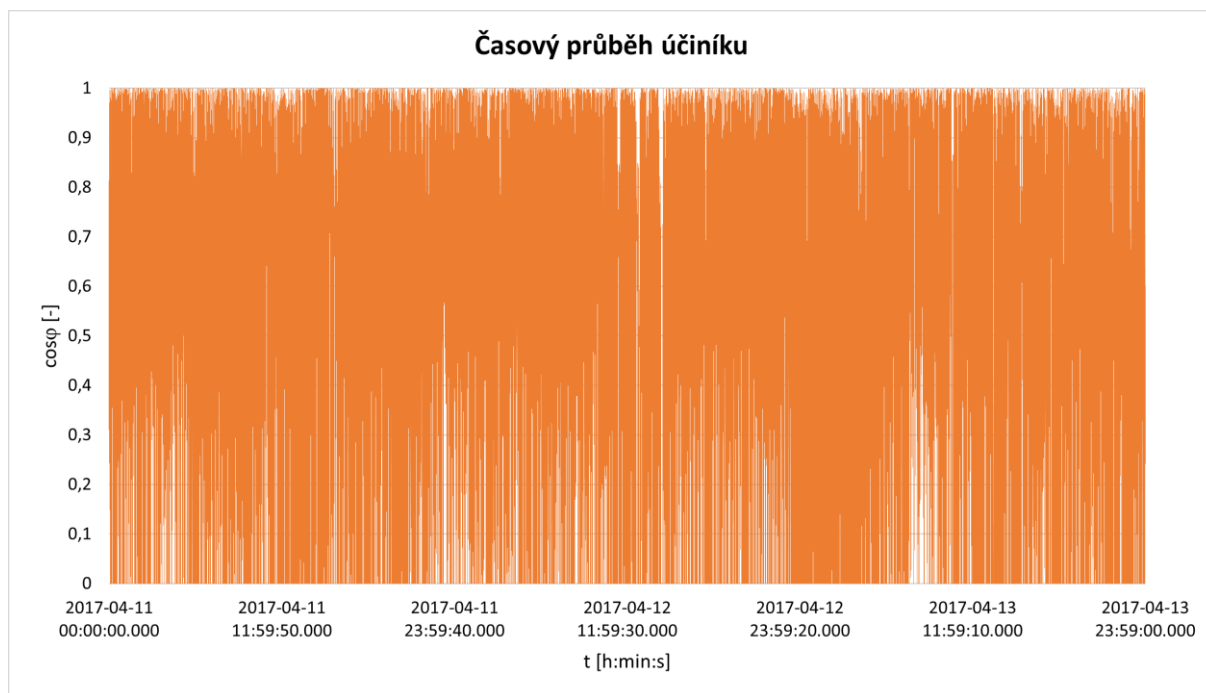
Obrázek 39: Časový průběh jalového výkonu na přívodní kobce č. 2 s připojenou kompenzací.



Obrázek 40: Časový průběh zdánlivého výkonu na přívodní kobce č. 2 s připojenou kompenzací.

- Časový průběh účinníku

Na obrázku č. 41 je zaznamenaný časový průběh účinníku vyskytující se na přívodní kobce č. 2. Měření již probíhalo při zapojeném kompenzačním rozvaděči. Při porovnání s grafem účinníku na obrázku č. 36 lze zjistit, že průběh účinníku nacházející se na obrázku č. 41 dosahuje výrazně vyšších hodnot, než je to právě u zmíněného předešlého grafu. V určitých oblastech dosahuje účinník požadovaných hodnot, které splňují předepsané úrovně. Problémem ale je, že v celém průběhu měření se vyskytují v určitých místech hodnoty, které nemají přijatelné velikosti účinníku.



Obrázek 41: Časový průběh účinníku na přívodní kobce č. 2 s připojenou kompenzací.

4.3.2 Celkové změřené hodnoty na rozvodně R2

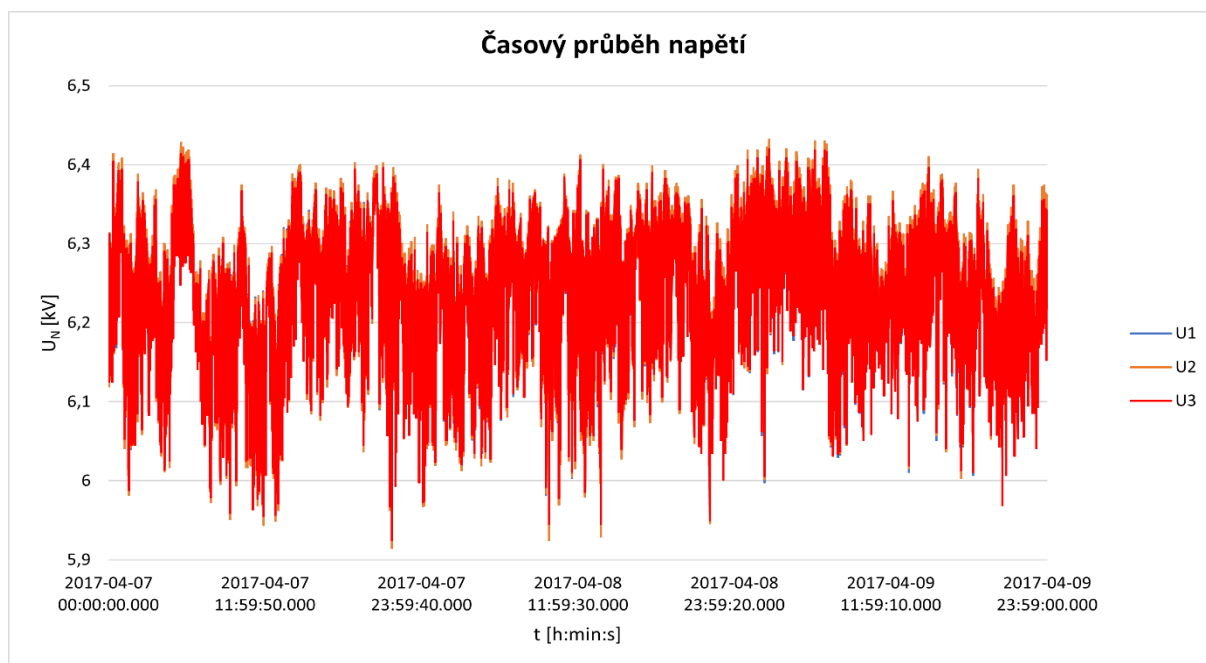
Všechny tři přívodní kobky jsou zapojené do rozvodny R2 paralelně. Pro získání potřebných výsledných hodnot výkonu bylo tedy nutné všechny tři přívody paralelně sečíst dohromady. K tomu se použil program Microsoft Excel, kde se provedl daný součet a následně se promítly výsledné časové průběhy pro oba změřené stavy (bez kompenzace a s kompenzací).

4.3.2.1 Celkové naměřené hodnoty bez připojené kompenzace

V této podkapitole jsou vykresleny celkové časové průběhy z hodnot, které byly naměřeny při odpojení kompenzačního rozvaděči. Jedná se o výsledné průběhy, které nebudou směrodatné pro nový návrh řízené kompenzace. Je to z důvodu toho, že nový návrh kompenzace se bude projektovat ve stavu, kdy původní kompenzační rozvaděč bude v dané rozvodně R2 připojený a bude tam tedy provedena už určitá kompenzace. Následující vyhodnocené výsledné průběhy mají posloužit hlavně k tomu, aby bylo ukázáno, že bez připojeného původního kompenzačního rozvaděče je účinník v podstatně horším stavu.

- **Výsledný časový průběh napětí**

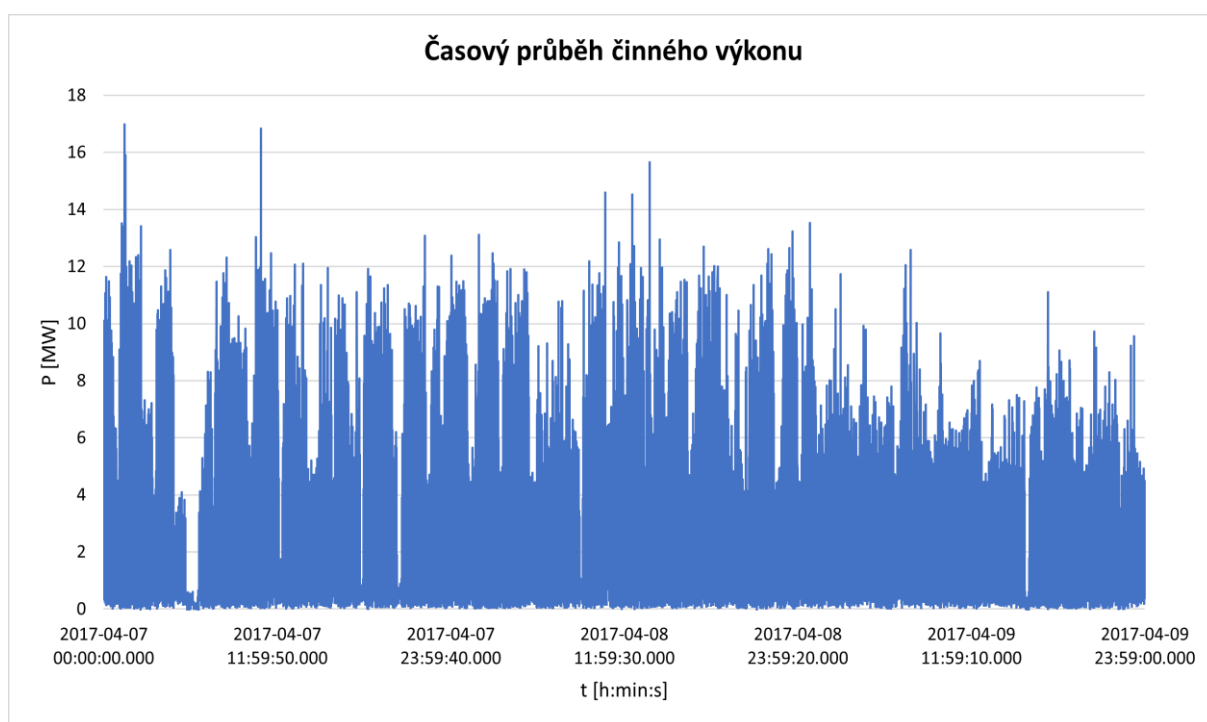
Výsledný časový graf napětí na rozvodně R2 je na obrázku č. 42. Pro odchylky napětí platí již jmenovaný dovolený rozsah $U_N \pm 10\%$. Po uskutečněním vyhodnocení naměřených hodnot napětí lze říci, že v žádném případě nenastalo překročení dovolené hodnoty napětí v rozmezí $U_N \pm 10\%$. Vyhodnocené odchylky napětí se od jmenovitého napětí $U_N = 6,3$ kV pohybovaly v rozsahu od $+2,09\%$ U_N do $-6,09\%$ U_N neboli od $+131,7$ V do $-383,7$ V.



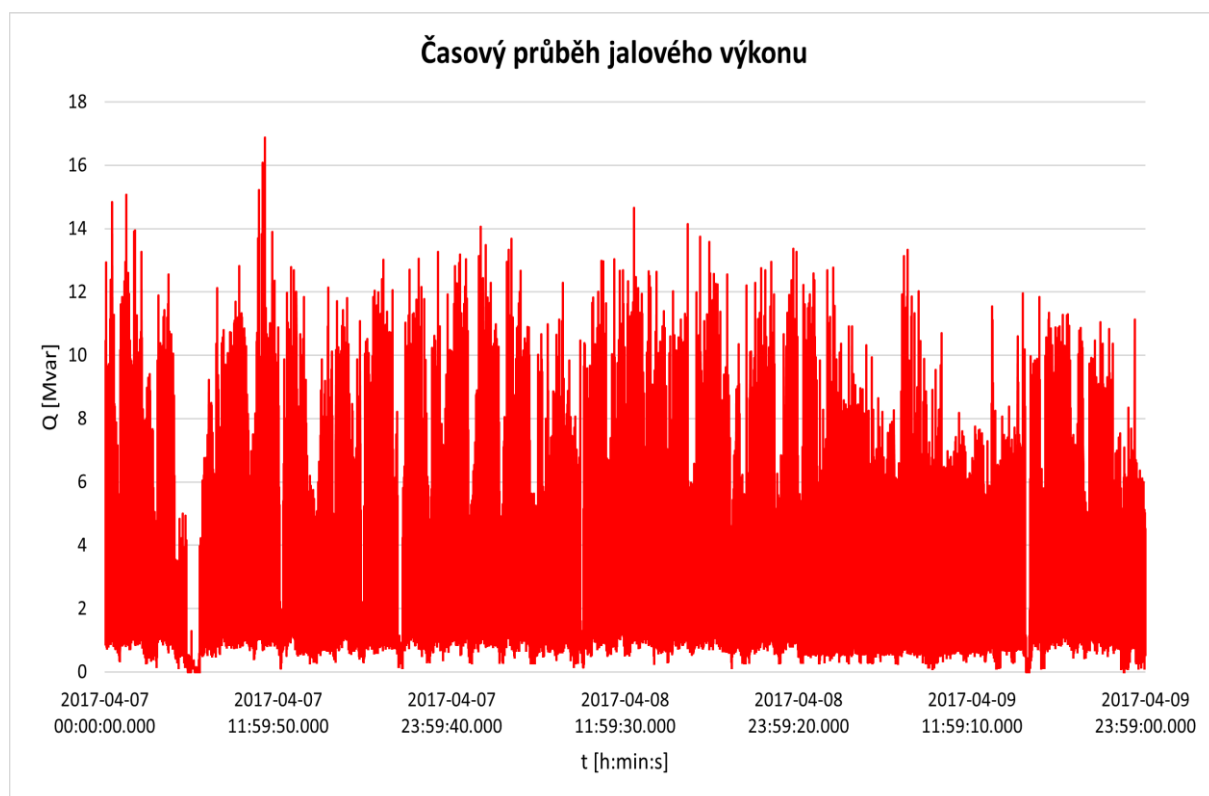
Obrázek 42: Výsledný časový průběh napětí na rozvodně R2.

- **Výsledný časový průběh činného, jalového a zdánlivého výkonu**

Celkový časový graf činného a jalového výkonu, jenž se nachází na rozvodně R2, je znázorněný na obrázku č. 43 a č. 44.

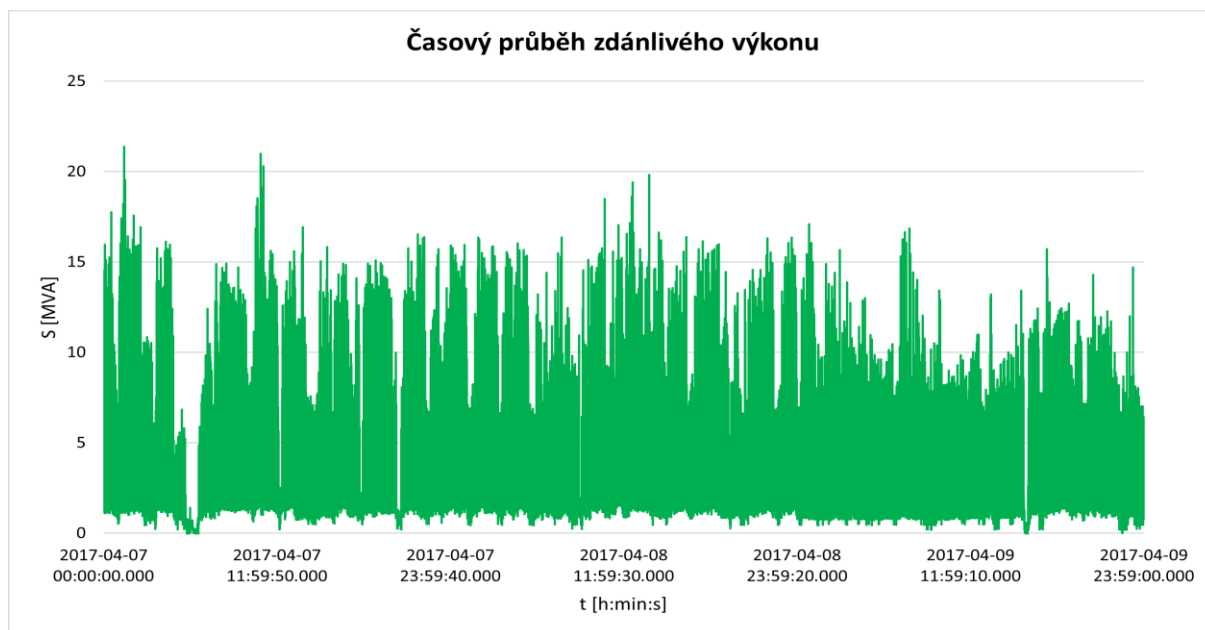


Obrázek 43: Výsledný časový průběh činného výkonu na rozvodně R2.



Obrázek 44: Výsledný časový průběh jalového výkonu na rozvodně R2.

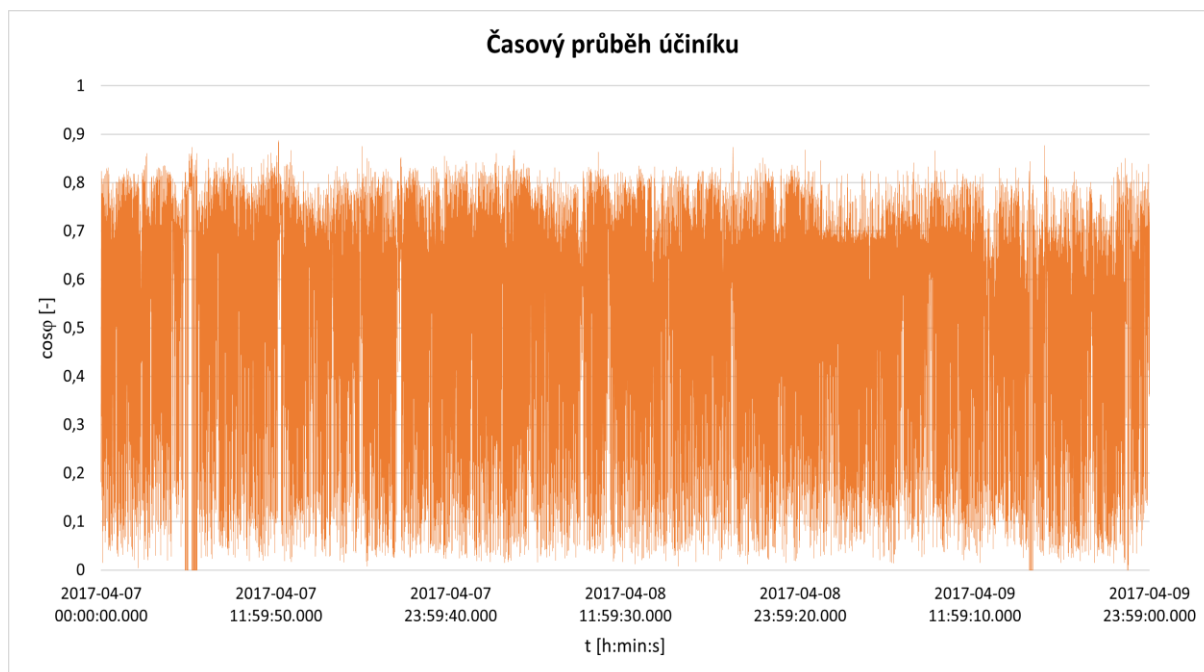
Na obrázku č. 45 je vyhotovený výsledný časový graf zdánlivého výkonu vyskytující se na rozvodně R2.



Obrázek 45: Výsledný časový průběh zdánlivého výkonu na rozvodně R2.

- **Výsledný časový průběh účinníku**

Výsledný časový graf účinníku na rozvodně R2 je vykreslený na obrázku č. 46. Z průběhu lze rozpoznat, že účinník nemá požadovanou předepsanou úroveň $\cos\varphi = 0,95$ v celém úseku měření. Platí tady víceméně to stejné jako u přívodní kobky č. 2. Dost hodnot se v průběhu pohybovalo pod hranicí $\cos\varphi < 0,5$ a výjimečné nebyly ani hodnoty účinníku pod hranici $\cos\varphi < 0,3$.



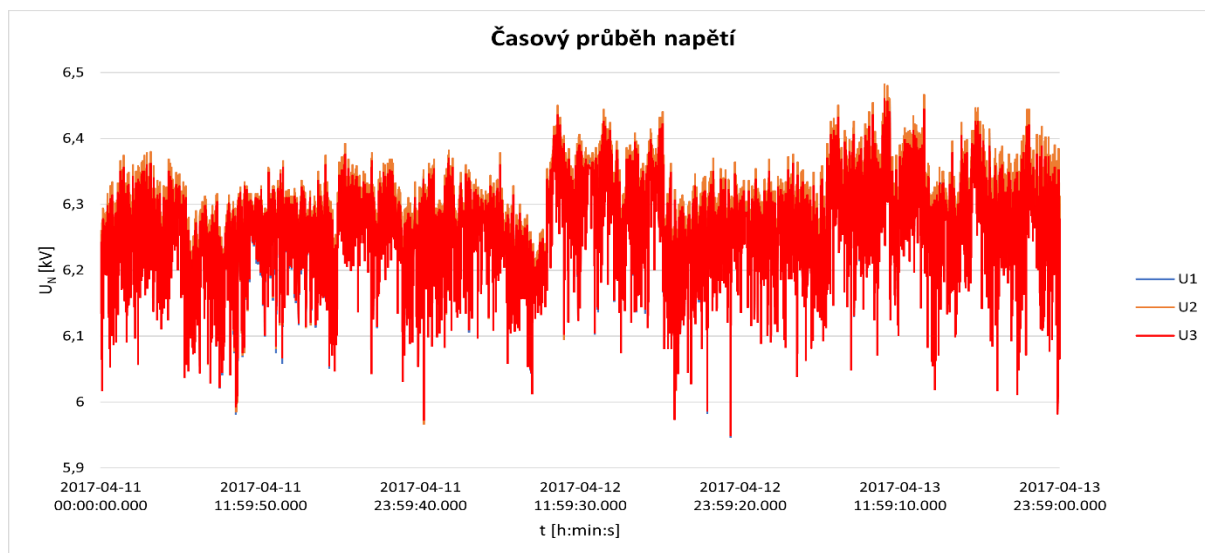
Obrázek 46: Výsledný časový průběh účinníku na rozvodně R2.

4.3.2.2 Celkové naměřené hodnoty s připojenou kompenzací

V této podkapitole jsou znázorněny celkové časové průběhy, které byly získány z hodnot, jenž byly naměřeny s připojenou původní kompenzací. Tyto následující výsledné časové průběhy budou

tvořit základní podklady pro návrh nové řízené kompenzace. Je to z toho důvodu, že nový návrh se bude projektovat ve stavu, kdy bude stávající kompenzační rozvaděč v rozvodně R2 připojený neboli bude tam již provedena určitá kompenzace. Tyto výsledné časové průběhy mají dále posloužit k tomu, aby bylo dokázáno, že stávající kompenzační rozvaděč není schopen pokrýt celou potřebu jalového výkonu, který je potřebný pro správný chod rozvodny R2.

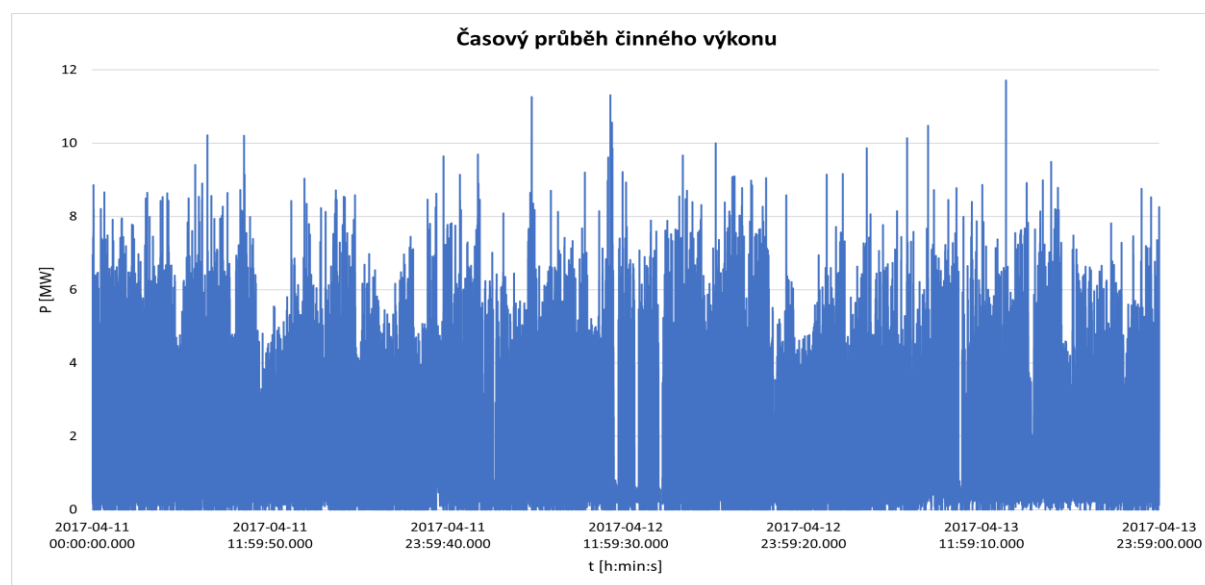
- **Výsledný časový průběh napětí**



Obrázek 47: Výsledný časový průběh napětí na rozvodně R2 s připojenou kompenzací.

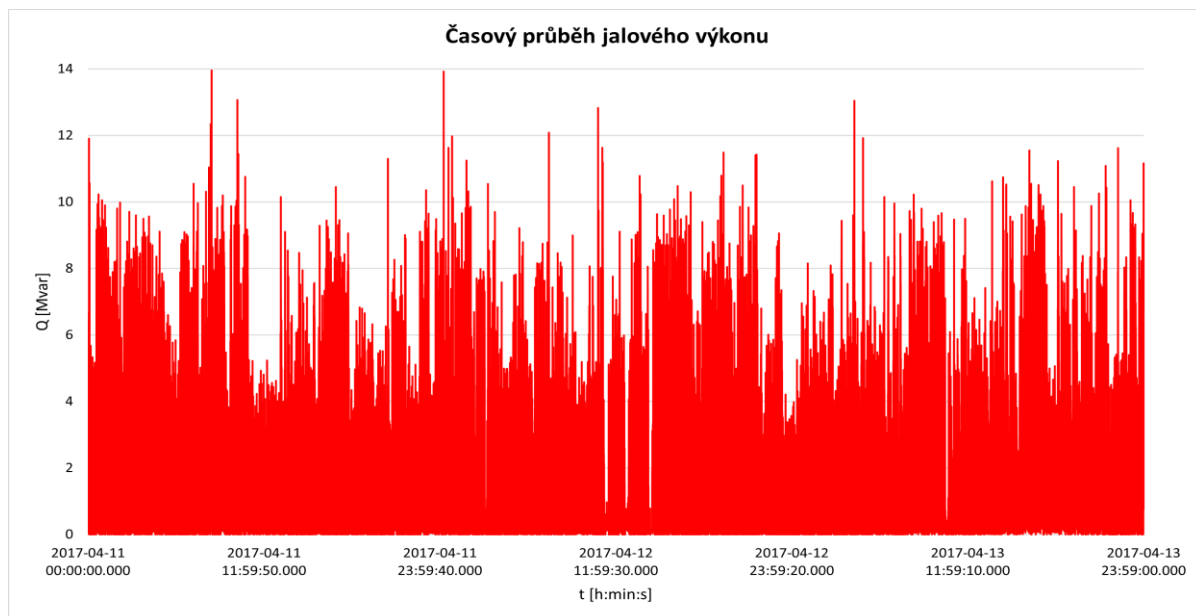
Na obrázku č. 47 je znázorněn výsledný časový graf napětí na rozvodně R2. Po vykonaném zhodnocení naměřených hodnot napětí lze konstatovat, že v žádném okamžiku nedošlo k přesáhnutí limitní hodnoty napětí, jenž činí $U_N \pm 10\%$. Zjištěné odchylky napětí se od jmenovitého napětí $U_N = 6,3$ kV pohybovaly v rozmezí od $+2,89\% U_N$ do $-5,59\% U_N$ neboli od $+182$ V do $-352,2$ V.

- **Celkový časový průběh činného, jalového a zdánlivého výkonu**



Obrázek 48: Výsledný časový průběh činného výkonu na rozvodně R2 s připojenou kompenzací.

Výsledné časové grafy činného a jalového výkonu jsou zobrazeny na obrázku č. 48 a č. 49.



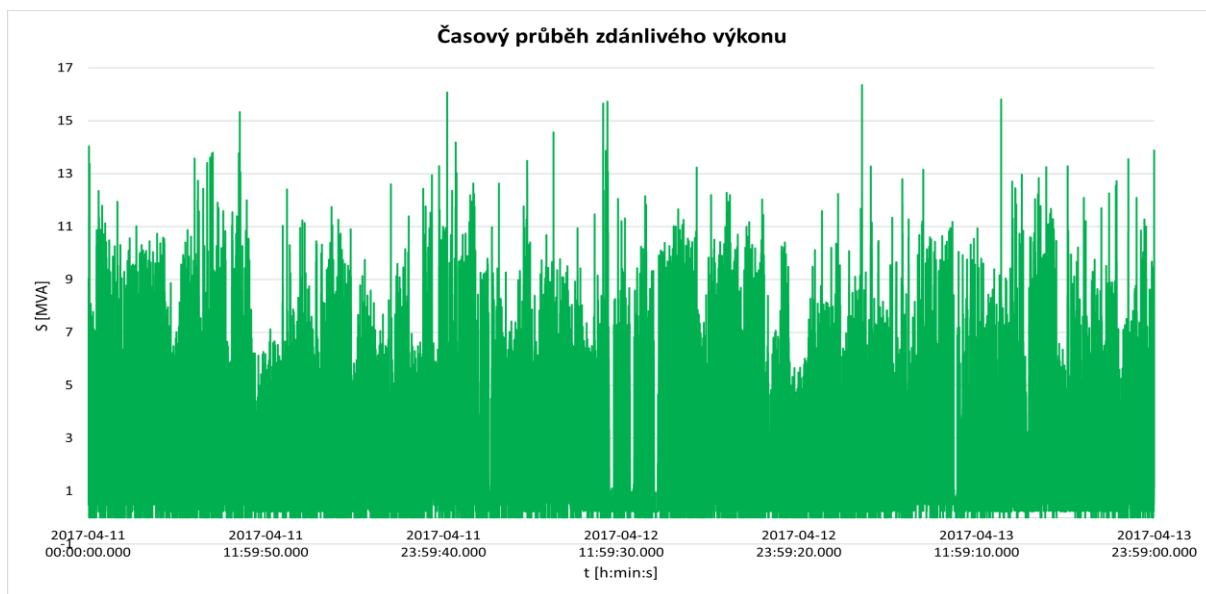
Obrázek 49: Výsledný časový průběh jalového výkonu na rozvodně R2 s připojenou kompenzací.

Aby došlo k lepšímu pochopení odběru jalového výkonu v dané rozvodně, tak se vytvořila tabulka č. 2, kde jsou stanoveny procentní četnosti odběrů jalového výkonu z celkového úseku měření. Například hodnoty jalového výkonu, které jsou menší než 0,1 Mvar, se nacházely v daném grafu celkově 9,4 % z výsledného průběhu měření.

Tabulka 2: Informace týkající se odběru jalového výkonu v celém změřeném průběhu při zapojené stávající kompenzace.

Oblast Q	Četnost odběru v oblasti Q
[Mvar]	[%]
$Q < 0,1$	9,4
$0,1 \leq Q < 0,25$	11,6
$0,25 \leq Q < 0,5$	10,8
$0,5 \leq Q < 1$	15,1
$1 \leq Q < 1,5$	14,2
$1,5 \leq Q < 2$	7,5
$2 \leq Q < 3$	9,9
$3 \leq Q < 4$	9,1
$4 \leq Q < 5$	6,0
$5 \leq Q < 6$	2,9
$6 \leq Q < 8$	2,5
$8 \leq Q < 10$	0,9
$10 \leq Q < 14$	0,1

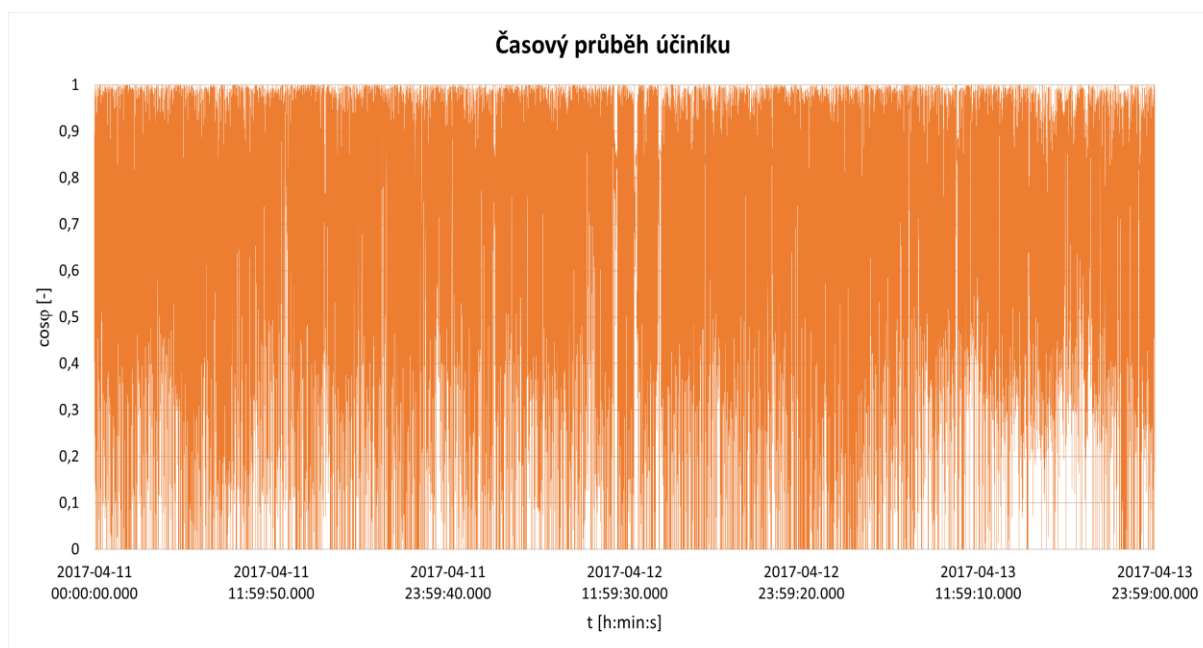
Výsledný časový průběh zdánlivého výkonu vyskytující se na rozvodně R2 je zobrazený na obrázku č. 50.



Obrázek 50: Výsledný časový průběh zdánlivého výkonu na rozvodně R2 s připojenou kompenzací.

- **Celkový časový průběh účinníku**

Celkový časový graf účinníku, který se nachází na rozvodně R2, je zobrazený na obrázku č. 51. Jestliže tento průběh účinníku porovnáme s grafem účinníku vyskytující se na obrázku č. 46, tak lze zjistit, že průběh účinníku nacházející se na obrázku č. 51 dosahuje výrazně vyšších hodnot, než je to právě u jmenovaného předešlého grafu. Problémem zde ale je, že v celém úseku měření se vyskytují v určitých místech hodnoty, které nemají přijatelné velikosti účinníku, což má za následek větší ztráty v rozvodně. A to je hlavní důvod, kvůli čemu je potřeba navrhnout novou řízenou kompenzaci pro rozvodnu R2.



Obrázek 51: Výsledný časový průběh účinníku na rozvodně R2 s připojenou kompenzací.

5 Návrh kompenzace

Jak to již bylo zmíněno v kapitole výše, nový návrh kompenzace se bude projektovat ve stavu, kdy bude stávající kompenzační rozvaděč v rozvodně R2 připojený. To znamená, že v dané rozvodně už je provedena určitá kompenzace. Z toho důvodu je nutné naprojektovat takový kompenzační rozvaděč, který bude schopen pokrýt zbývajících potřebný kompenzační výkon pro správný chod rozvodny R2. Z toho vyplývá, že základní podklady pro nový návrh řízení kompenzace tvoří výsledné časové průběhy z podkapitoly „4.3.2.2 Celkové naměřené hodnoty s připojenou kompenzací“. Z těchto naměřených hodnot se navrhne optimální způsob kompenzace pro zmíněnou rozvodnu.

5.1 Výběr vhodné varianty kompenzace

Kompenzace pomocí rotačních kompenzačních prostředků byla vyloučena z důvodu, které byly již vysvětleny v kapitole „3 Možnosti optimalizace rozvodů VH - kompenzace“. To stejné platí pro aktivní filtry, které jsou pro rozvodnu R2 z finančního hlediska nevyhovující. Hlavní příčinou jsou jejich pořizovací náklady, jenž jsou podstatně větší než u statických kompenzátorů. Z toho důvodu se jako kompenzační prostředky pro rozvodnu R2 použijí statické kompenzátory, které jsou pro danou rozvodnu optimální.

Dále je důležité si vybrat typ statického kompenzačního prostředku. Lze si zvolit buď statický kondenzátor, chráněnou kompenzační sekci nebo kompenzační filtr. Kompenzační filtr se používá hlavně v těch sítích, kde je nutné odstranit harmonické proudy generované elektrickými spotřebiči, které výrazně ovlivňují průmyslovou síť. Z finančního hlediska je kompenzační filtr podstatně dražší než ostatní zmíněné statické kompenzátory, proto je jeho využití pro rozvodnu R2 příliš ekonomicky nevyhovující. Z toho důvodu se použití kompenzačního filtru pro danou rozvodnu vylučuje. Chráněné kompenzační sekce se používají zejména v elektrických sítích, v nichž se vyskytují elektrické spotřebiče, které vytvářejí harmonické proudy. Tyto harmonické proudy však nedosahují v zmíněných sítích takové velikosti, aby je bylo potřebné eliminovat. Hlavním problémem těchto harmonických je zásadně v nebezpečném proudovém přetěžování kompenzačních kondenzátorů, což by mělo za následek zkrácení jejich životnosti. Hrazená kompenzace je schopná nejenom tedy chránit kompenzační kondenzátory před proudovým přetěžováním, ale také dokáže zabránit vzniku nežádoucí rezonance. Hrazená kompenzace dále umožňuje, co nejvíce omezit odsávání signálu HDO. Kvůli těmto důvodům se pro danou rozvodnu R2 použije chráněná kompenzační sekce. [6]

Dále je potřebné zvolit vhodný způsob řízení těchto statických kompenzátorů. Neoptimálnější by bylo vybrat plynulé ovládání jalového proudu s využitím dekompenzační tlumivky a paralelně zapojeným kondenzátorem. Tento způsob řízení byl popsán již v podkapitole „3.2 Možnosti řízení kompenzačního výkonu pro rozvodnu R2“. Použití plynulého řízení pro rozvodnu R2 by bylo přijatelné jen v případě, kdyby bylo potřeba kromě kompenzování jalového výkonu, také kompenzovat jiné parametry elektrické sítě jako například harmonické apod. U zmíněné rozvodny R2 se požaduje pouze kompenzace jalového výkonu, proto použití plynulého řízení by bylo příliš neekonomické. Z toho důvodu se pro danou rozvodnu zvolí stupňovité ovládání, které je realizované buď v bezkontaktním nebo v kontaktním provedení.

Způsob bezkontaktního spínání pomocí bezkontaktních spínačů je mnohem přijatelnější než použití kontaktního spínání, které využívá stykače. Je to hlavně kvůli tomu, že použitím bezkontaktního

provedení se odstraní některé nevýhody, které vznikají při aplikování kontaktního spínání, což bylo už vysvětleno v podkapitole „3.2 Možnosti řízení kompenzačního výkonu pro rozvodnu R2“. Z finančního hlediska je ale bezkontaktní spínání podstatně dražší než zmíněné kontaktní. Z toho důvodu bylo vybráno stupňovité ovládání v kontaktním provedení.

5.1.1 Stupňovitě řízená hrazená kompenzace s napětím 6,3 kV

Každý kompenzační stupeň se bude skládat z určitého LC obvodu. Díky tomu budou kondenzátory chráněny před proudovým přetěžováním a omezí se tím odsávání signálu hromadného dálkového ovládání. Další výhodnou vlastností u tlumivky je, že umožňuje snižovat proudové rázy během připínání kondenzátorů na průmyslovou síť. Pro spínání kompenzačních sekcí se využijí kontaktní vakuové stykače a každý tento stupeň bude mít zajištěné jištění pomocí pojistek. Pro zlepšenou ochranu se dále hradící tlumivky opatří teplotními čidly, jenž se umístí v jejich vinutích. Kompenzační kondenzátory se také vyzbrojí přetlakovými pojistkami. Přívodní kabel VN bude zaústěn do přívodního pole kompenzačního rozvaděče. Kompenzační výkon se bude řídit pomocí mikroprocesorového regulátoru jalového výkonu. [19]

Tento vybraný způsob kompenzace nabízí určité výhody. Z finančního hlediska je tato varianta kompenzace podstatně levnější při srovnání s plynulé řízeným kompenzačním zařízením. Výhodou této kompenzace jsou i jejich ztráty, které jsou relativně malé a pohybují se maximálně kolem 5,5 až 7 W/kvar. Další výhodou stupňovité kompenzace jsou nízké požadavky na údržbu. Zvolený způsob kompenzace má také určité nevýhody. Při stupňovitém spínání dochází ke skokové obměně kompenzačního výkonu, což může mít někdy za důsledek, že daná síť bude na krátkou dobu překompenzována. Tím by docházelo k nežádoucí dodávce kapacitního výkonu do napájecí sítě, což by mělo nevhodný účinek na celkové kolísání napětí, které se mění podle změn jalového výkonu. V případě zmíněného překompenzování musí odběratel elektrické energie zaplatit poplatek za nevyžádanou dodávku kapacitního výkonu do sítě. Další nevýhodou je nutnost mít na každé kompenzační sekci vybíjecí zařízení. Nevyhovující je také, že se během spínání mohou objevit přepětí, které mohou být nebezpečné pro připojené elektrické spotřebiče a pro samotný kompenzační prostředek. [9] [19]

5.2 Charakteristické parametry regulátoru ovlivňující navrženou kompenzaci

Je důležité si uvědomit, že některé parametry automatického regulátoru jalového výkonu dokážou zřetelně ovlivnit návrh kompenzace. Pomocí některých parametrů lze dokonce celkový návrh výrazně usnadnit. V této podkapitole jsou uvedeny parametry automatického regulátoru NOVAR 1414 od firmy KMB systems s.r.o. Tento regulátor se vybral na základě toho, že optimálně splňoval všechny hlavní požadavky, které byly nutné pro vhodný návrh kompenzace. Jedná se o třífázový regulátor, který je schopen měřit proudy v každé fázi. Je to z toho důvodu, že má ve výbavě tři proudové vstupy, než je to právě u jiných druhů regulátorů. Mezi jeho výhody patří především přijatelná cena a také jeho funkce, kdy je schopen vyhodnotit třífázový účinník. Podle této veličiny se poté reguluje potřebný jalový výkon. Dále je u zmíněného regulátoru výhodné, že obsahuje parametr, podle kterého lze nastavit regulační pásmo při dosažení vysokých hodnot výkonů. [18]

5.2.1 Popis určitých parametrů regulátoru NOVAR 1414

- **Žádaný účíník**

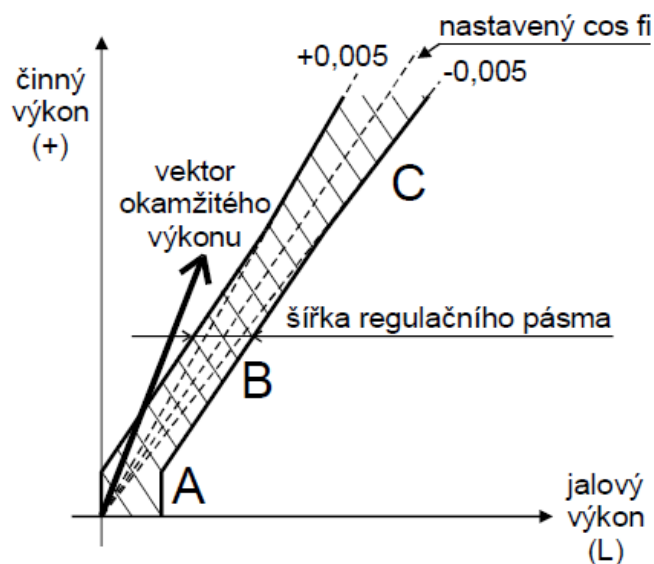
Hodnotu žádaného účíníku je možné seřadit v rozmezí 0,8 induktivních ÷ 0,8 kapacitních po kroku 0,01. V případě, že je potřeba provést ještě preciznější nastavení, tak se to řeší tím způsobem, že se místo žádaného účíníku zadává fázový úhel, který se nastavuje v rozmezí ± 10 stupňů. [18]

- **Čas provedení regulačního zásahu**

Jestliže se jedná o oblast nedokompenzovanou, tak platí tyto informace. Čas provedení regulačního zásahu je možné nastavit v rozmezí od 5 sekund až do 20 minut. Pro uskutečnění regulačního zásahu však musí být splněny určité podmínky. Jako první musí platit, aby okamžitý změřený účíník byl induktivnější než účíník, který se vyžaduje (nedokompenzovaný stav). Dále je nutné, aby rozdíl mezi okamžitým jalovým výkonem a vyhovujícím jalovým výkonem, což je hodnota výkonu pro dosažení požadovaného účíníku, byl rovný výkonu nejnižšího kompenzačního stupně, jenž se značí C/k_{\min} . [18]

V případě, že se jedná o oblast překompenzovanou, tak platí shodné podmínky jako u oblasti nedokompenzované. Liší se pouze tím, že okamžitý změřený účíník musí být kapacitnější než účíník, který se vyžaduje (překompenzovaný stav). [18]

- **Nastavitelný rozsah regulačního pásma**



Obrázek 52: Nastavitelný rozsah regulačního pásma.

Při dosažení vysokých hodnot výkonu obsahuje daný regulátor parametr, kterým lze rozšířit šířku regulačního pásma. Tato oblast je znázorněna na obrázku č. 52. Oblast „A“ reprezentuje hodnoty malých výkonů a oblast „B“ představuje hodnoty středních výkonů. U obou těchto oblastí se rozsah regulačního pásma nemění a jeho velikost je rovná C/k_{\min} , což je výkon, který dosahuje nejnižší kompenzační stupeň. Dále se na obrázku vyskytuje směrnice nastaveného účíníku, kterou daný regulátor pozoruje v rozmezí $\pm (C/k_{\min})/2$ neboli v rozsahu poloviny výkonu nejmenšího kompenzačního

stupně. V oblasti „A“ lze ještě vidět určité zakřivení regulačního pásma, které je tam z toho důvodu, aby nenastávalo překompenzování při nízkých výkonech. Vysoké hodnoty výkonu reprezentuje oblast „C“, ve které už lze šířku regulačního pásma roztáhnout do určité velikosti. Hodnota rozšíření může být maximálně do takové velikosti, která je rovna odchylce od žádaného účinníku. Celkově lze při dosažení vysokých hodnot výkonu roztáhnout šířku regulačního pásma maximálně až do velikosti 0,04. To znamená, že jestli je v oblasti „C“ vyžadovaný účinník například o velikosti 0,96, tak regulátor bude tuto oblast považovat za vykompenzovanou pouze tehdy, jestliže účinník v této oblasti bude dosahovat hodnot vyskytujících se v rozmezí od 0,94 až do 0,98. Je to výhodné hlavně z důvodu snižování počtu regulačních operací při dosažení vysokých výkonů. [18]

5.3 Návrh kompenzačních stupňů bez hradicích tlumivek

Pro rozvodnu R2 je potřebné navrhnout vhodnou stupňovitě řízenou hrazenou kompenzaci. Z toho důvodu se užilo váhového rozdělení kompenzačního výkonu pro jednotlivé spínané stupně. Výsledné množství stupňů v dané kompenzaci a jejich dílčí velikosti se volí podle určitých parametrů, které jsou uvedeny níže:

- Požadovaný výsledný kompenzační výkon, který je nutné dodat do rozvodny R2.
- Vyžadovaná hodnota účinníku, kterou je potřebné daným vykompenzováním dosáhnout. Kvůli tomu, že se jedná o dynamický provoz, tak není přesně určena vyžadovaná hodnota účinníku. Za správně vykompenzovaný odběr se tedy považuje takový odběr, jehož účinník bude v rozsahu $0,93 \div 0,97$.

Nejdříve se určí výkon nejmenšího kompenzačního stupně, což je popsáno v následující podkapitole.

5.3.1 Určení kompenzačního výkonu u nejmenšího spínaného stupně

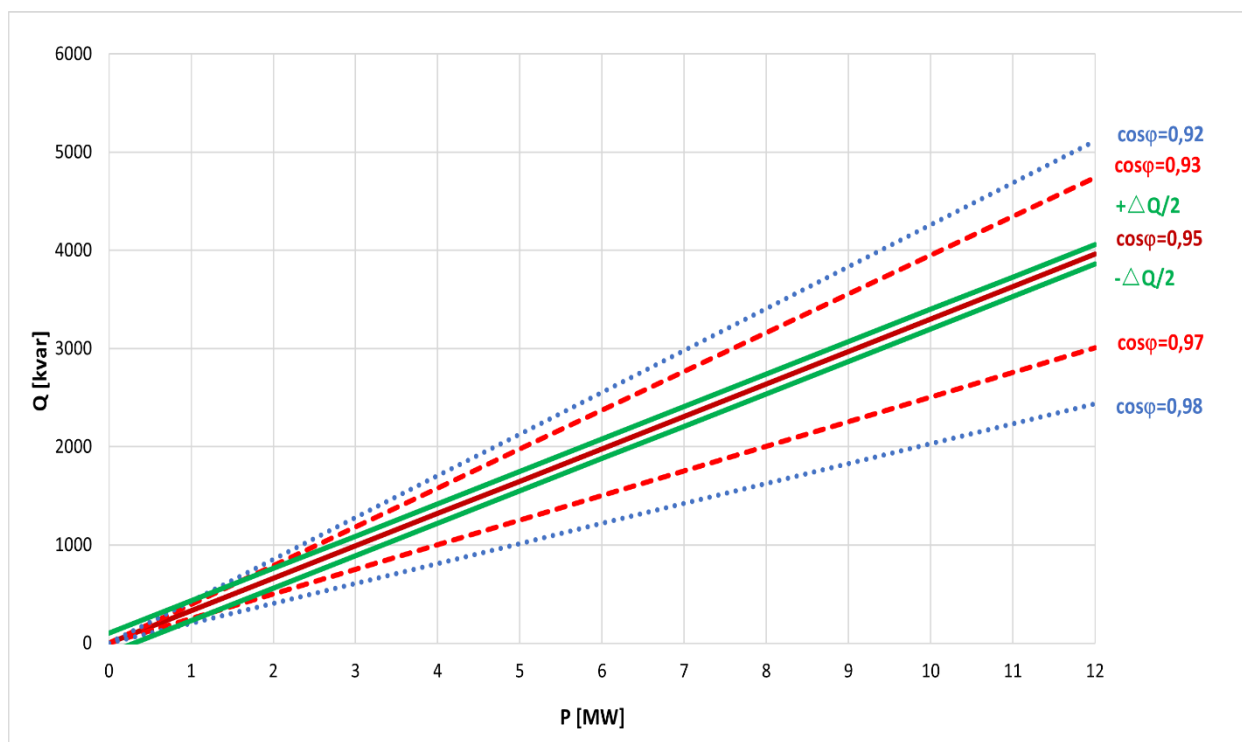
Při navrhování stupňovité kompenzace je velmi důležité vhodně zvolit výkon nejmenšího kompenzačního stupně. Při stupňovitém ovládání kompenzačního zařízení platí určité pravidlo, které je nutné brát v potaz. Jedná se o to, že nelze vykompenzovat hodnotu jalového výkonu, jehož hodnota je nižší, než je velikost jalového výkonu u nejmenšího kompenzačního stupně. Jedná se o hodnotu, která patří do tzv. míry nevykompenzování. Proto je třeba brát na tohle pravidlo ohled při navrhování výkonu u nejmenšího stupně.

Kompenzační výkon nejmenšího spínaného stupně a zvolená vyžadovaná hodnota účinníku určí nedostatek jalového výkonu. S tímto výkonem bude navrhnutá kompenzace fungovat v závislosti na činném výkonu. Tato závislost je zobrazena na obrázku č. 53. Při dimenzování se bude vycházet z tabulky č. 3, ve které jsou znázorněny naměřené odebírané hodnoty činného výkonu z rozvodny R2. Jedná se o naměřené hodnoty z časového průběhu na obrázku č. 48. V této tabulce jsou stanoveny procentní četnosti odběrů činného výkonu z celkového úseku měření. Z tabulky lze vidět, že nejčastěji se činný výkon odebíral z rozvodny v rozmezí od 0,25 MW až do 1 MW. Na tento rozsah činného výkonu se bude při návrhu nejmenšího kompenzačního stupně brát velký ohled tak, aby se zajistilo, že provoz bude ve zmíněném rozmezí výkonu většinu času s účinníkem větším než 0,92.

Tabulka 3: Informace týkající se odběru činného výkonu v celém změřeném průběhu při zapojené stávající kompenzaci.

Oblast P	Četnost odběru v oblasti P
[MW]	[%]
$P < 0,25$	8,5
$0,25 \leq P < 0,5$	9,9
$0,5 \leq P < 0,75$	19,2
$0,75 \leq P < 1$	15,0
$1 \leq P < 1,5$	9,0
$1,5 \leq P < 2$	6,8
$2 \leq P < 2,5$	5,9
$2,5 \leq P < 3,5$	9,4
$3,5 \leq P < 4,5$	8,7
$4,5 \leq P < 5,5$	4,5
$5,5 \leq P < 7,5$	2,7
$7,5 \leq P < 12$	0,4

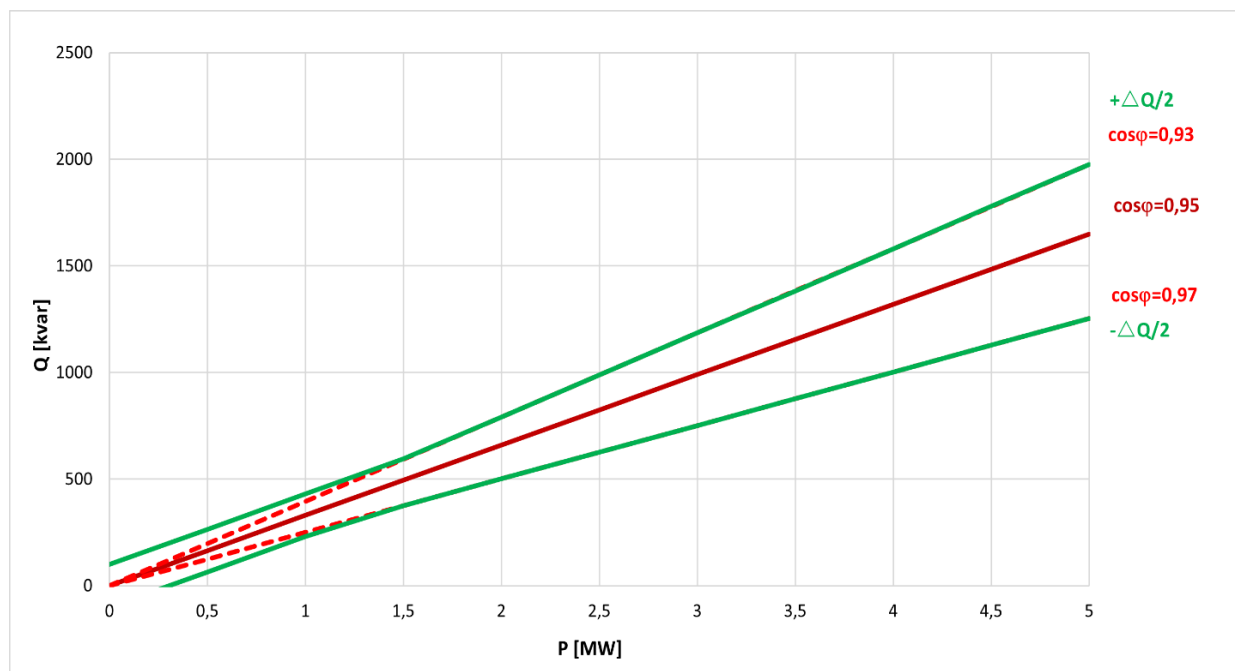
Při volbě vhodného deficitu jalového výkonu ΔQ se vycházelo z obrázku č. 53 a také z již zmíněné skutečnosti, že nelze vykompenzovat hodnotu jalového výkonu, jehož velikost je menší, než je hodnota jalového výkonu u nejmenšího spínaného stupně. Po uvážení se zvolila hodnota $\Delta Q = 200$ kvar.



Obrázek 53: Rozsah regulačního pásma o hodnotě $\Delta Q = 200$ kvar.

Jak to již bylo zmíněno v podkapitole „1.2.1 Popis určitých parametrů daného regulátoru NOVAR 1414“, lze pomocí regulátoru vhodně upravit rozsah regulačního pásma. Šířku pásma lze

rozšířit ale pouze v oblasti, kde výkon dosahuje vysokých hodnot. Pomocí tohoto nastavení se sníží počet regulačních operací při dosažení vyšších hodnot výkonů. Upravený rozsah regulačního pásma lze vidět na obrázku č. 54. [18]



Obrázek 54: Upravený rozsah regulačního pásma o hodnotě $\Delta Q = 200$ kvar pomocí regulátoru.

Je nutné si dále uvědomit, že vlivem zapojení tlumivky do série s kondenzátorem nastává jednak určité snížení kompenzačního výkonu a jednak zvýšení napětí na kompenzačním kondenzátoru. Proto se zvolil výkon pro první kompenzační stupeň o něco větší. Jeho hodnota činí 250 kvar.

5.3.2 Návrh výkonu u zbylých kompenzačních stupňů

Při návrhu ostatních kompenzačních stupňů se braly ohledy hlavně na výsledný časový průběh jalového výkonu, který je zobrazen na obrázku č. 49. Pro stanovení výkonu u těchto stupňů bylo potřebné zjistit, jaký je maximální požadovaný kompenzační výkon v celém naměřeném úseku měření. Proto se pro jeho určení použily v tabulkovém programu Microsoft Excel vzorce, které se aplikovaly pro všechny naměřené hodnoty v každém časovém intervalu. Tyto vzorce jsou znázorněny níže.

Nejdříve se určil zdánlivý výkon po kompenzaci:

$$S_k = \frac{P}{\cos\varphi_k} \quad [\text{VA}] \quad (5.1)$$

Poté se vypočítal jalový výkon po kompenzaci, který je nutné dosáhnout, aby se získal požadovaný účinník $\cos\varphi_k$:

$$Q_k = \sqrt{S_k^2 - P^2} \quad [\text{var}] \quad (5.2)$$

Na závěr se určil potřebný kompenzační výkon, jenž je nutný dodat do dané sítě, aby se získal vyžadovaný účinník $\cos\varphi_k$:

$$Q_c = Q - Q_k \quad [\text{var}] \quad (5.3)$$

Je ale nutné si uvědomit, že není vhodné dimenzovat kompenzační rozvaděč na maximální hodnotu potřebného jalového výkonu. Je to z toho důvodu, že kdyby se navrhl kompenzační rozvaděč na takovou hodnotu, při které by se dosáhlo vykompenzování všech odběrů na požadovanou velikost účinníku, tak by cena takového návrhu vzrostla příliš na vysokou hodnotu. Proto je třeba u kompenzačního rozvaděče navrhnout takový kompenzační výkon, který zajistí jak dostatečnou kompenzaci pro většinu odběrů v rozvodně R2, ale také cena návrhu se bude vyskytovat v přijatelných mezích. Nevýhodou tohoto návrhu však bude, že určité procento těch největších výkonových špiček nebude mít uskutečněnou požadovanou kompenzaci.

Výkony ostatních kompenzačních stupňů se zvolily jako násobky prvního stupně. Při výběru se bral i zřetel na určitou rezervu výkonu, která se provádí kvůli tlumivkám, které mají za následek již zmíněné snížení kompenzačního výkonu. Zvolilo se tedy šest kompenzačních sekcí s váhou spínání 1:2:3:4:4:4, kde hodnota nejmenšího spínaného stupně je 250 kvar. Výkony těchto kompenzačních stupňů jsou zobrazeny v tabulce č. 4.

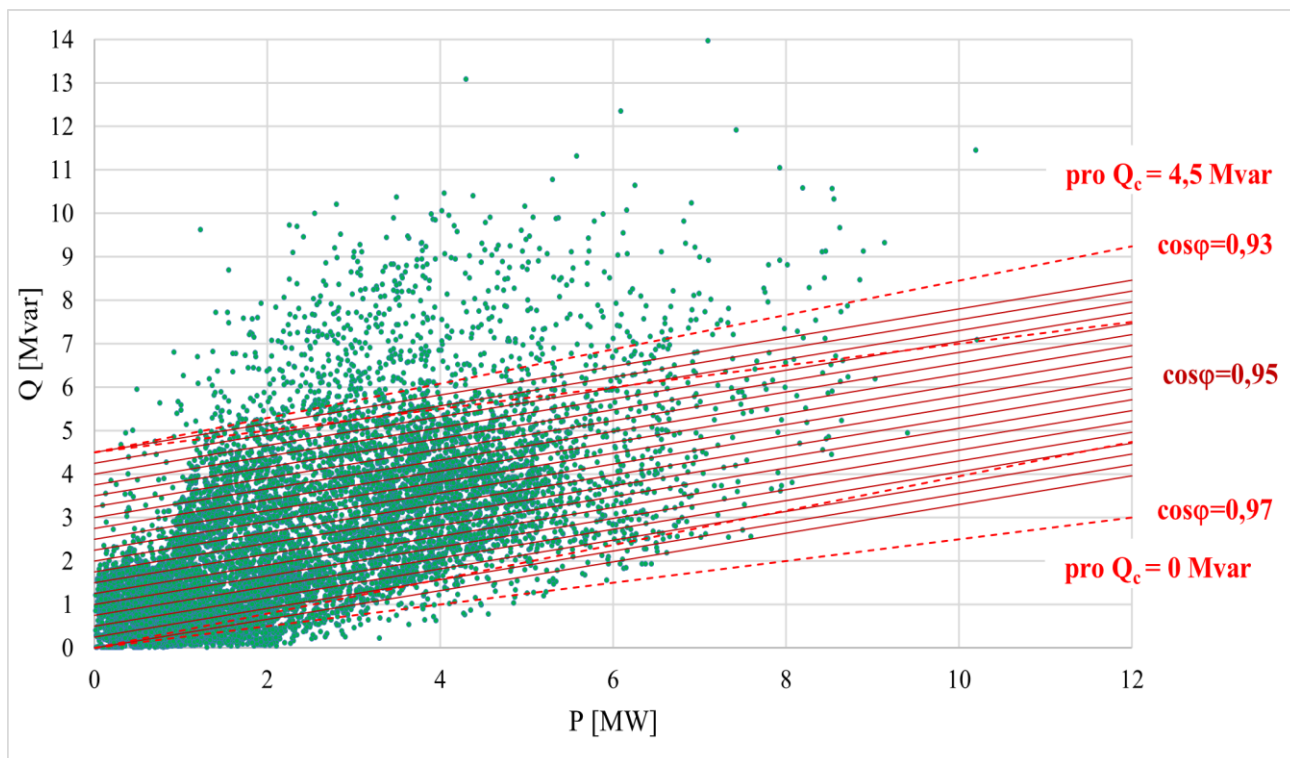
Tabulka 4: Jednotlivé kompenzační stupně.

Číslo kompenzačního stupně	Váha kompenzačního stupně	Výkon kompenzačního stupně
-	-	[kvar]
1	1	250
2	2	500
3	3	750
4	4	1000
5	4	1000
6	4	1000

Výsledný instalovaný výkon pro daný kompenzační rozvaděč je 4,5 Mvar. Pro tento výkon se ale ještě neuvažují hradící tlumivky. To znamená, že ve skutečnosti bude výsledný kompenzační výkon, jenž navrhovaný rozvaděč bude schopen dodat do rozvodny R2, o něco nižší.

Pro lepší objasnění spínání jednotlivých kompenzačních stupňů se vytvořila závislost $Q = f(P)$, která je znázorněna na obrázku č. 55. V grafu se vyskytují plné červené čáry, které spolu tvoří rovnoběžky. Tyto rovnoběžky představují účinník $\cos\varphi = 0,95$ neboli $\tan\varphi = 0,33$. Každá rovnoběžka patří k dané kombinaci spínání kompenzačních stupňů. Z důvodu toho, že navrhnutý kompenzační rozvaděč obsahuje šest kompenzačních sekcí, tak lze vytvořit až 18 odlišných spínaných kombinací, kde každá tato kombinace bude mít odlišnou velikost kompenzačního výkonu. Kompenzační rozvaděč dosahuje maximální hodnoty, která činí $Q_c = 4,5$ Mvar, při sepnutí všech kompenzačních stupňů. Dále se v grafu nacházejí přerušované červené čáry, které odpovídají účinníku v rozsahu $0,93 \div 0,97$. Tyto přerušované čáry se vytvořily pouze pro kompenzační výkon o hodnotě $Q_c = 0$ Mvar a $Q_c = 4,5$ Mvar. Bylo to hlavně z toho důvodu, aby graf byl lépe přehlednější. V grafu se také vyskytují zelené body odpovídající jednotlivým naměřeným odběrům. Problémem ale zde bylo, že při vykreslení všech naměřených odběrů z celého průběhu měření docházelo k přílišné nepřehlednosti grafu a špatné orientaci v něm.

Protože se ale časový průběh výkonu opakuje, tak se to vyřešilo tím způsobem, že se zobrazily pouze odběry pro první měřený den v časovém intervalu od 4.11.2017 0:00:00 do 4.11.2017 23:59:55.



Obrázek 55: Spínání jednotlivých kompenzačních stupňů pro dosažení přijatelného účinníku.

Na obrázku č. 55 lze vidět, že nejsou všechny odebírané výkony pokryty v požadovaném rozsahu regulačního pásma ($\cos\varphi = 0,93 \div 0,97$). Jedná se hlavně o zmíněné výkonové špičky. Je to způsobeno tím, že se kompenzační rozvaděč nedimenzoval na maximální potřebný kompenzační výkon, protože jinak by cena vytvořeného návrhu byla příliš vysoká. Výhodou ale je, že v celém změřeném grafu se výkonové špičky vyskytují v malém počtu. Celkově to vychází 3,5 % odběrů z celého naměřeného průběhu, které vyžadují větší kompenzační výkon (pro dosažení požadovaného $\cos\varphi \geq 0,93$), než je schopen dodat kompenzační rozvaděč s maximální hodnotou kompenzačního výkonu 4,5 Mvar. Tohle procentní číslo lze považovat za akceptovatelné, ale je třeba si uvědomit, že se dané číslo ještě o něco zvýší vlivem předřazení tlumivek.

5.4 Návrh hradicích tlumivek do jednotlivých kompenzačních stupňů

Hradicí tlumivky jsou velmi důležitým komponentem při navrhování kompenzace. Vytváří totiž ve spojení s kondenzátorem sériový rezonanční obvod, který se přeladuje na takovou frekvenci, která se vyskytuje většinou mezi kmitočty 150 Hz a 250 Hz. To znamená, že je potřeba přeladit kompenzační stupeň do takového frekvenčního pásma, ve kterém se nebude nacházet kmitočet některé harmonické jako například 5., 7., 11., 13. harmonická apod. Tím se zabrání rezonanci na některé harmonické, což by mělo jinak za následek proudové přetěžování kondenzátorů. Dále se tím omezí odsávání signálu HDO z průmyslové sítě, protože bude zajištěn vhodný distanc od kmitočtu signálu HDO. [6]

Hradicí tlumivky se tedy naprojektují s rezonanční frekvencí, která se bude vyskytovat mezi 3. harmonickou a 5. harmonickou. Prakticky to znamená, že se bude nacházet v pásmu kmitočtů od 170 Hz do 205 Hz. Třinecké železářny se nacházejí v oblasti, kde se používá frekvence signálu HDO o

hodnotě 283,33 Hz. Z toho důvodu se zvolila pro všechny kompenzační stupně rezonanční frekvence o velikosti 189 Hz, což představuje činitel zatlumení 7 %. Při volbě činitele zatlumení je vhodné vybírat co nejmenší hodnotu. Je to hlavně kvůli tomu, že čím se zvolí větší hodnota činitele zatlumení, tak tím se požadují větší hradící tlumivky, což má za následek jejich větší cenu. [6] [20]

Činitel zatlumení lze vypočítat pomocí následujícího vzorce, kde f_r je rezonanční kmitočet a f_n je pracovní kmitočet: [20]

$$p = \frac{1}{\left(\frac{f_r}{f_n}\right)^2} \cdot 100 = \frac{1}{\left(\frac{189}{50}\right)^2} \cdot 100 = 7 \% \quad (5.4)$$

Jak to již bylo zmíněno výše, je třeba počítat s vlivem hradící tlumivky, protože sériové spojení tlumivky s kondenzátorem způsobí, že se napětí na kondenzátoru zvýší na hodnotu U_C . Proto je potřebné zjistit hodnotu zvýšeného napětí na zmíněném kondenzátoru, jelikož se budou podle této velikosti kompenzační kondenzátory dále navrhovat.

Napětí na kompenzačním kondenzátoru U_C se vypočítá pomocí vztahu, ve kterém se již respektuje činitel zatlumení p :

$$U_C = \frac{U_N}{1-p} = \frac{6300}{1-0,07} = 6,774 \text{ kV} \quad (5.5)$$

Vlivem hradící tlumivky vzrostlo napětí na kompenzačním kondenzátoru až na velikost 6,774 kV. Kvůli tomu není možné užít kondenzátor, jenž je navržený na jmenovité síťové napětí U_N , jehož hodnota činí 6,3 kV. Proto se aplikují kompenzační kondenzátory, které jsou dimenzovány na vyšší jmenovité napětí U_{CN} na hodnotu 7,2 kV.

5.4.1 Určení jednotlivých parametrů hrazené kompenzační sekce pro první stupeň s kompenzačním výkonem Q_{CN} o hodnotě 250 kvar

Navrhuje se třífázová kondenzátorová baterie, která je v zapojení do hvězdy. Schéma hrazené kompenzační sekce je zobrazené na obrázku č. 56.

Jako první se vypočítá reaktance kondenzátoru X_C podle vzorce:

$$X_C = \frac{U_{CN}^2}{Q_{CN}} = \frac{7200^2}{250000} = 207,36 \Omega \quad (5.6)$$

Dále se určí kapacita samostatného kondenzátoru C z dané kondenzátorové baterie:

$$C = \frac{1}{\omega \cdot X_C} = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot X_C} = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot 50 \cdot 207,36} = 15,4 \mu F \quad (5.7)$$

Následně se zjistí výkon kondenzátorové baterie Q_C , který je přepočtený na skutečné napětí U_C o hodnotě 6,774 kV:

$$Q_C = Q_{CN} \cdot \left(\frac{U_C}{U_{CN}}\right)^2 = 250000 \cdot \left(\frac{6774}{7200}\right)^2 = 221,3 \text{ kvar} \quad (5.8)$$

Pak se vypočítá skutečný proud I_C , který daným kondenzátorem prochází:

$$I_C = \frac{Q_C}{\sqrt{3} \cdot U_C} = \frac{221300}{\sqrt{3} \cdot 6774} = 18,86 \text{ A} \quad (5.9)$$

Reaktance hradící tlumivky X_L se určí pomocí vztahu:

$$X_L = X_C \cdot p = 207,36 \cdot 0,07 = 14,51 \, \Omega \quad (5.10)$$

Indukčnost hradicí tlumivky L se zjistí pomocí následujícího vzorce:

$$L = \frac{X_L}{\omega} = \frac{X_L}{2 \cdot \pi \cdot f} = \frac{14,51}{2 \cdot \pi \cdot 50} = 46,2 \, \text{mH} \quad (5.11)$$

Pro ověření rezonanční frekvence lze použít tento vztah:

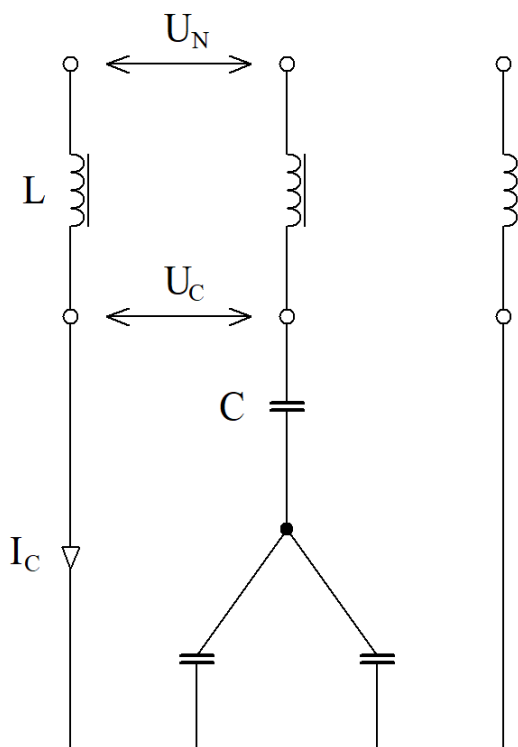
$$f_r = f \cdot \sqrt{\frac{X_C}{X_L}} = 50 \cdot \sqrt{\frac{207,36}{14,51}} = 189 \, \text{Hz} \quad (5.12)$$

Dále se vypočítá skutečná velikost kompenzačního výkonu hrazené kompenzační sekce podle vzorce:

$$Q_{LC} = \frac{U_N^2}{X_C \cdot (1-p)} = \left(\frac{U_N}{U_{CN}}\right)^2 \cdot \frac{Q_{CN}}{1-p} = \left(\frac{6300}{7200}\right)^2 \cdot \frac{250000}{1-0,07} = 205,8 \, \text{kvar} \quad (5.13)$$

Na závěr se zjistí skutečný proud, který prochází hrazenou sekcí:

$$I_{LC} = \frac{Q_{LC}}{\sqrt{3} \cdot U_N} = \frac{205800}{\sqrt{3} \cdot 6300} = 18,86 \, \text{A} \quad (5.14)$$



Obrázek 56: Schéma hrazené kompenzační sekce.

5.4.2 Určení jednotlivých parametrů hrazené kompenzační sekce pro ostatní stupně

U zbylých stupňů se jednotlivé parametry vypočítají stejným způsobem jako v předešlém případě. Výsledné hodnoty parametrů pro jednotlivé kompenzační stupně jsou uvedeny v tabulce č. 5.

Tabulka 5: Hlavní parametry jednotlivých kompenzačních stupňů.

Parametry spínaných stupňů		1. Stupeň	2. Stupeň	3. Stupeň	4. Stupeň	5. Stupeň	6. Stupeň
Kompenzační výkon kondenzátorové baterie	Q_{CN} [kvar]	250	500	750	1000	1000	1000
Výkon kondenzátorové baterie přepočtený na napětí U_c	Q_c [kvar]	221,3	442,6	663,9	885,2	885,2	885,2
Kapacita kompenzační baterie	C [μ F]	3 x 15,4	3 x 30,7	3 x 46,1	3 x 61,4	3 x 61,4	3 x 61,4
Reaktance kondenzátoru	X_C [Ω]	207,36	103,68	69,12	51,84	51,84	51,84
Skutečný proud kompenzačního kondenzátoru	I_c [A]	18,9	37,7	56,6	75,5	75,5	75,5
Indukčnost hradící tlumivky	L [mH]	3 x 46,2	3 x 23,1	3 x 15,4	3 x 11,6	3 x 11,6	3 x 11,6
Reaktance hradící tlumivky	X_L [Ω]	14,51	7,26	4,84	3,63	3,63	3,63
Rezonanční frekvence	f_r [Hz]	189	189	189	189	189	189
Skutečný kompenzační výkon hrazené kompenzační sekce	Q_{LC} [kvar]	205,8	411,6	617,4	823,3	823,3	823,3
Skutečný proud hrazené kompenzační sekce	I_{LC} [A]	18,9	37,7	56,6	75,5	75,5	75,5

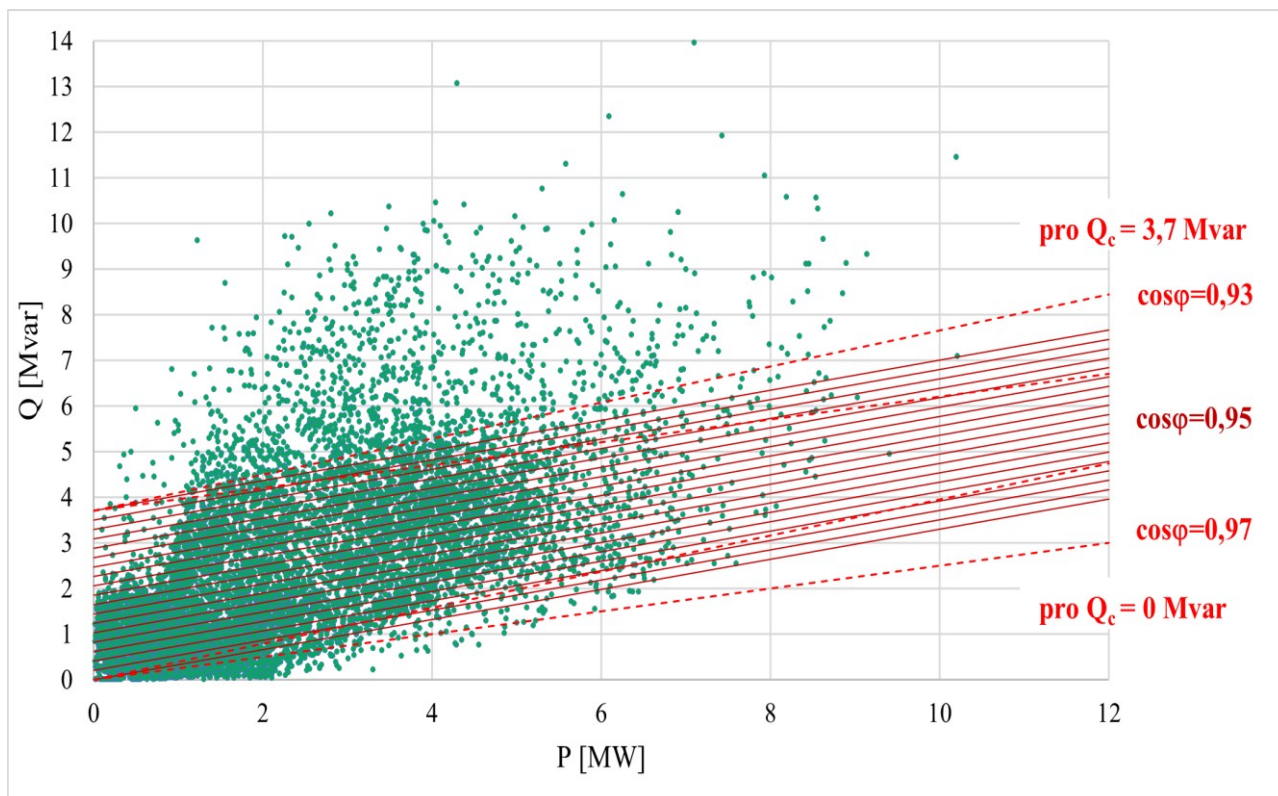
5.4.3 Výsledné posouzení navržených kompenzačních sekcí

Vlivem hradících tlumivek se výsledný kompenzační výkon zmenšil z hodnoty 4,5 Mvar na velikost 3,7 Mvar. Jedná se o skutečný kompenzační výkon, který je schopný kompenzační rozvaděč dodat do dané rozvodny R2. Stejně jako v předchozím případě se vytvořila závislost $Q = f(P)$, aby se zjistilo, jak se změní spínání jednotlivých kompenzačních stupňů se zmenšeným kompenzačním výkonem. Tato závislost je zobrazena na obrázku č. 57.

Po předřazení hradících tlumivek vychází u nejmenšího spínaného stupně kompenzační výkon 205,8 kvar. Tuto hodnotu kompenzačního výkonu nedosahuje z celého průběhu měření až 18,3 % odběrů jalového výkonu. Četnost odběrů jalového výkonu je znázorněna v tabulce č. 2. Z těchto 18,3 % odběrů bylo 15,8 % již ve stavu, kdy je lze označit za vykompenzované, protože měly $\cos\varphi \geq 0,93$. Bylo to způsobeno především stávající připojenou kompenzací v dané rozvodně. Z toho vyplývá, že zbylých 2,5 % odběrů nedosahovalo vyžadovaného účinníku a kvůli tomu, že mají menší výkon, než je výkon u nejmenšího kompenzačního stupně o hodnotě 205,8 kvar, tak je nebude možné už vykompenzovat na požadovaný rozsah účinníku $0,93 \div 0,97$. Řešením by bylo zvolit podstatně menší spínaný stupeň, ale z důvodu toho, že by bylo nutné mít větší množství kompenzačních sekcí, což by mělo za následek větší počet regulačních zásahů, tak se tato možnost vyloučila.

Dále si lze všimnout na obrázku č. 57, že se mírně zvýšil počet odebíraných výkonů, které nejsou pokryty v požadovaném rozsahu regulačního pásma ($\cos\varphi = 0,93 \div 0,97$). Je to způsobeno tím, že se snížil kompenzační výkon na hodnotu 3,7 Mvar, což je skutečný maximální výkon, jenž je schopný

kompenzační rozvaděč do rozvodny dodat. Vlivem tlumivek se procentní číslo zvýšilo na hodnotu 5,9 % odběrů z celkového naměřeného průběhu, které požadují větší kompenzační výkon (pro dosažení $\cos\varphi \geq 0,93$), než je schopen dodat kompenzační rozvaděč. Tento stav by se dal řešit zvýšením celkové hodnoty kompenzačního výkonu u navrženého rozvaděče například přidáním dalšího kompenzačního stupně. Z finančního hlediska by byl celkový návrh příliš náročný, a proto se zvolil tento kompromis, kdy určité procento výkonových špiček nebude vhodně vykompenzováno.



Obrázek 57: Spínání jednotlivých kompenzačních stupňů s předřazenými hradicemi tlumivkami.

Jak to již bylo zmíněno výše, protože se jedná o dynamický provoz, kde se zatížení často obměňuje, tak nebyla přímo určena přesná velikost účinníku, kterou je nutno dosáhnout. Z toho důvodu se jako správně vykompenzovaný odběr považuje ten, který dosáhne hodnoty účinníku vyskytující se v rozsahu $\cos\varphi = 0,93 \div 0,97$.

Výsledné vypočítané hodnoty účinníku, které byly získány pomocí tabulkového programu Microsoft Excel, vyšly následovně:

Navržený hrazený kompenzační rozvaděč je schopen vykompenzovat 89,4 % odběrů s účinníkem vyšším než 0,93. Dále 3,2 % odběrů bude vykazovat účinník horší, ale ne nižší než 0,9. Dalších 2,4 % odběrů se bude vyskytovat v rozsahu $\cos\varphi = 0,85 \div 0,9$. Zbýlých 5 % odběrů bude dosahovat účinník, jenž bude nižší než 0,85. Jedná se převážně o výkonové špičky, které požadovaly podstatně větší kompenzační výkon, což bylo již vysvětleno podrobněji výše.

Je ale nutné si uvědomit, že tento stav se dosáhne pouze v případě, když je v rozvodně R2 připojený stávající kompenzační rozvaděč. V případě jeho odstavení nebude nově navržená řízená kompenzace schopna tyto vypočítané hodnoty dosáhnout.

5.5 Místo připojení kompenzačního rozvaděče

Navržený kompenzační rozvaděč by se měl připojit do kobky č. 17, která se vyskytuje v rozvodně R2. Jedná se o rezervní kobku, kterou lze momentálně pro tento návrh využít. Kdysi na této kobce byla také připojena kompenzace, ale jednalo se o kompenzaci, která byla k síti trvale připojená. Po čase ale byla zrušená, protože dodávala příliš velký kompenzační výkon, který v té době pro rozvodnu R2 již nebyl zapotřebí.

Vytvořený kompenzační rozvaděč bude napájen přívodním kabelem VN z rozvodny R2. Proudů a napětí budou měřeny pomocí měřících transformátorů proudu a napětí. Kompenzační rozvaděč se bude skládat z jednoho přívodního pole a z šesti kompenzačních polí. V přívodním poli kompenzačního rozvaděče se bude nacházet odpojovač, který zabezpečí spolehlivou obsluhu. Celý rozvaděč bude vypínán výkonovým vypínačem VN a vybaven ochranou proti možnému přepětí, podpětí, nadproudu, nesymetrii, zemním poruchám atd. Jednotlivé kompenzační stupně budou spínány vakuovými stykači VN a budou jištěny pojistkami VN. Kompenzační výkon bude řízen pomocí mikroprocesorového automatického regulátoru jalového výkonu.

Většinou se přívodní vodiče dimenzují na proud, jenž dosahuje 1,5 násobku jmenovitého proudu.

Jmenovitý proud

$$I_N = \frac{Q_{CN}}{\sqrt{3} \cdot U_N} = \frac{3,704 \cdot 10^6}{\sqrt{3} \cdot 6300} = 339,5 \text{ A} \quad (5.15)$$

Proud dimenzovaný na možné přetížení

$$I_{max} = 1,5 \cdot I_N = 1,5 \cdot 339,5 = 509 \text{ A} \quad (5.16)$$

5.6 Jednotlivé komponenty navrhnutého kompenzátoru

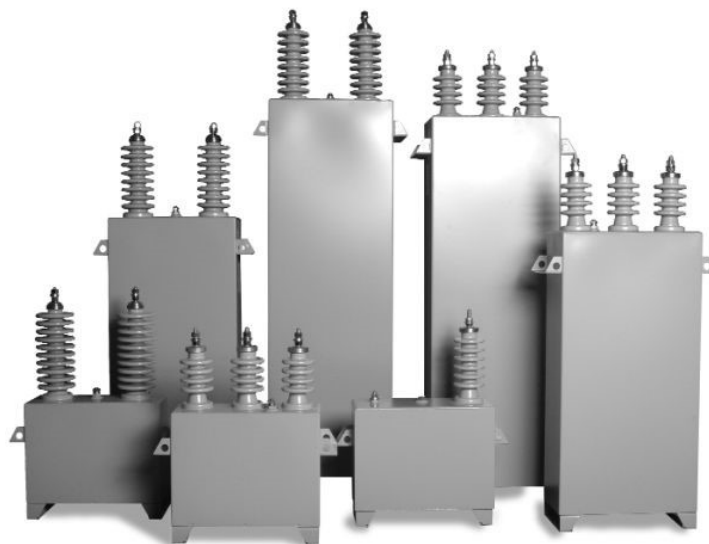
V této podkapitole budou popsány a vybrány jednotlivé komponenty pro správný a bezpečný chod navržené kompenzace.

5.6.1 Kompenzační kondenzátory VN

Kompenzační kondenzátory se využívají hlavně pro kompenzaci jalového výkonu v průmyslových sítích. Pro vytvořený návrh byly vybrány třífázové kompenzační kondenzátory VN od výrobce ZEZ SILKO, s.r.o. Jedná se o českou firmu, která patří mezi hlavní výrobce kompenzačních kondenzátorů v celé České republice. V současnosti vyrábí zmíněná firma třífázové kondenzátory VN s jmenovitým výkonem v rozmezí od 25 kvar až do 1000 kvar. [22]

Zvolené třífázové kondenzátory spadají do typové řady CPEFS pro napěťovou hladinu 7200 V. Zapojení těchto kompenzačních kondenzátorů je do hvězdy a označuje se „Y“. Na obrázku č. 58 je znázorněno, že nádoba kondenzátoru je provedena jako krabicová. Každý tento třífázový kondenzátor má v sobě zabudované vybíjecí rezistory, které umožňují zmenšit napětí na hodnotu 75 V do 10 minut při odpojení zmíněného kompenzačního kondenzátoru. Protože se ale tyto kondenzátory budou využívat v provozu, který se bude dynamicky měnit, tak budou zmíněné vybíjecí odpory nepostačující. Z toho důvodu bude potřeba každý kompenzační kondenzátor ještě vyzbrojit rychlovybíjecím

zařízením. Životnost těchto kondenzátorů se odhaduje při normálních provozních podmínkách na více jak 150 tisíc hodin. Podle katalogu od firmy ZEZ SILKO dosahují výkonové ztráty u kondenzátorů 0,2 W/kvar. Výrobce dále umožňuje kompenzační kondenzátory dovybavit vnitřními pojistkami, které jsou schopny odpojit chybný svitek, čímž zajistí další chod kondenzátoru. Z toho důvodu se budou tyto vnitřní pojistky po výrobci požadovat. [22]



Obrázek 58: Kompenzační kondenzátory od výrobce ZEZ SILKO, s.r.o. [21]

V tabulce č. 6 jsou znázorněny jednotlivé parametry vybraných kompenzačních kondenzátorů VN pro vytvořený návrh kompenzace.

Tabulka 6: Hlavní parametry zvolených kompenzačních kondenzátorů VN.

Typ	Zapojení	Jmenovité napětí	Výkon	Jmenovitý proud	Kapacita
	-	U_N [kV]	Q_N [kvar]	I_N [A]	C_N [μF]
CPEFS 7,2/250	Y	7,2	250	20,1	3 x 15,4
CPEFS 7,2/500	Y	7,2	500	40,1	3 x 30,7
CPEFS 7,2/750	Y	7,2	750	60,1	3 x 46,1
CPEFS 7,2/1000	Y	7,2	1000	80,2	3 x 61,4

5.6.2 Hradící tlumivky VN

Význam hradících tlumivek v navrhnuté kompenzaci již byl vysvětlen v podkapitole „5.4 Návrh hradících tlumivek do jednotlivých kompenzačních stupňů“. Hradící tlumivky na vysoké napětí nepatří mezi komponenty, které by se sériově vyráběly. Z toho důvodu je bude potřebné nechat vyrobit na zakázku. Jako vyhovující firma byla opět zvolena ZEZ SILKO, s.r.o. Tato firma totiž umožňuje vyrobit třífázové hradící tlumivky s odlišnými parametry na vyžádání. [23]

Třífázové hradící tlumivky budou navrženy na kompenzační kondenzátory, které jsou dimenzovány na jmenovité napětí o hodnotě 7,2 kV v průmyslové síti 6,3 kV s frekvencí 50 Hz. Následně budou hradící tlumivky naladěny na rezonanční frekvenci o hodnotě 189 Hz, což představuje zvolený činitel zatlumení 7 %. Navrhnuté tlumivky budou realizovány s železným jádrem. Také zde bude zaručena určitá tolerance indukčnosti, která se bude pohybovat v rozmezí -1/+3 %. Také je nutné u těchto tlumivek zajistit, aby byly vybaveny tepelnou ochranou. [23]



Obrázek 59: Hradící tlumivka VN od výrobce ZEZ SILKO, s.r.o. [23]

V tabulce č. 7 jsou znázorněny jednotlivé parametry navrhnutých hradících tlumivek VN pro vytvořený návrh kompenzace.

Tabulka 7: Hlavní parametry navrhnutých hradících tlumivek VN.

Typ	Výkon kondenzátorové baterie	Výkon kondenzátorové baterie pro 6,774 kV	Kompenzační výkon chráněné sekce	Jmenovitý proud sekce	Indukčnost
	Q_N [kvar]	Q_C [kvar]	Q_{LC} [kvar]	I_{LC} [A]	L_N [mH]
250-189/6300/7200	250	221,3	205,8	18,9	3 x 46,2
500-189/6300/7200	500	442,6	411,6	37,7	3 x 23,1
750-189/6300/7200	750	663,9	617,4	56,6	3 x 15,4
1000-189/6300/7200	1000	885,2	823,3	75,5	3 x 11,6

5.6.3 Stykače VN

Pro spínání jednotlivých kompenzačních sekcí budou použity stykače. Z důvodu toho, že se navrhuje kompenzace pro rozvodnu, kde se zatížení dynamicky mění, tak je nutné použít takové stykače, které jsou schopny vysokého počtu spínacích operací. Proto se pro spínání kompenzačních stupňů využijí vakuové stykače VN, jenž zmíněnou podmínku dostatečně splňují.

Existuje dostatek firem, které se zabývají výrobou vakuových stykačů na vysoké napětí. Po uvážení byla vybrána jako vyhovující firma ABB s.r.o. Tato společnost nabízí vhodný vakuový stykač V-Contact VSC7 realizovaný v pevném provedení, který je dimenzovaný na jmenovité napětí 7,2 kV a

jmenovitý proud 400 A. Ve výbavě těchto stykačů je také držák pro pojistky. Tento stykač umožňuje vysoký počet spínacích operací a je tedy vhodný pro spínání kompenzačních stupňů. Zobrazení vakuového stykače V-Contact VSC7 je na obrázku č. 60. [24]



Obrázek 60: Vakuový stykač V-Contact VSC7 od výrobce ABB s.r.o. [24]

Z katalogu vakuového stykače V-Contact VSC7 lze zjistit, že jejich mechanická životnost činí 1 milion spínacích cyklů. Kdežto jejich elektrická životnost je určena v kategorii AC3 a je stanovena na velikost 100 tisíc operačních cyklů. [24]

5.6.4 Pojistky VN

Ve vytvořeném návrhu je dále nutné ochránit kompenzační stupně před zkraty. Z toho důvodu se pro jištění těchto stupňů využijí pojistky. Pojistka se bude navrhovat v kombinaci s výše vybraným vakuovým stykačem, který má ve své výbavě držák pro pojistky, což bylo již popsáno v předchozí podkapitole.

Pojistky byly tedy vybrány opět od výrobce ABB s.r.o., který nabízí pojistky v různých typových řadách. Pro vytvořený návrh kompenzace se zvolily pojistky typu CEF, jenž slouží k jištění kompenzačních kondenzátorů před zkraty a jsou dimenzovány na jmenovité napětí 7,2 kV. Aby pojistky pracovaly v návrhu správně, tak je nutné je dimenzovat na 1,5x jmenovitého proudu hrazené kompenzační sekce I_{LC} . Výsledné hodnoty těchto proudů jsou popsány níže. [25]

Pro výpočet proudu pojistky, který je dimenzovaný na případné přetížení, platí vztah:

$$I = I_{LC(205,8)} \cdot 1,5 = 18,9 \cdot 1,5 = 28,4 \text{ A} \quad (5.17)$$

$$I = I_{LC(411,6)} \cdot 1,5 = 37,7 \cdot 1,5 = 56,6 \text{ A} \quad (5.18)$$

$$I = I_{LC(617,4)} \cdot 1,5 = 56,6 \cdot 1,5 = 84,9 \text{ A} \quad (5.19)$$

$$I = I_{LC(823,3)} \cdot 1,5 = 75,5 \cdot 1,5 = 113,3 \text{ A} \quad (5.20)$$

V tabulce č. 8 jsou znázorněny jednotlivé parametry zvolených pojistek VN. Pro jednotlivé kompenzační stupně se zvolily pojistky, které jsou v tabulce zvýrazněny světle šedě.

Tabulka 8: Hlavní parametry zvolených pojistek VN.

Katalogové číslo	Typ	Jmenovité napětí U_N	Jmenovitý proud I_N	Maximální zkratový proud I_K
-	-	[kV]	[A]	[kA]
1YMB710713M1512	CEF	7,2	6,3	63
1YMB710716M1512	CEF	7,2	10	63
1YMB710718M1512	CEF	7,2	16	63
1YMB710719M1512	CEF	7,2	20	63
1YMB710721M1512	CEF	7,2	25	63
1YMB710724M1512	CEF	7,2	31,5	63
1YMB710725M1512	CEF	7,2	40	63
1YMB710727M1512	CEF	7,2	50	63
1YMB710729M1612	CEF	7,2	63	63
1YMB710731M1612	CEF	7,2	80	63
1YMB710733M1612	CEF	7,2	100	63
1YMB710735M1812	CEF	7,2	125	63

Na obrázku č. 61 jsou zobrazeny pojistky CEF od výrobce ABB s.r.o.



Obrázek 61: Pojistky CEF od výrobce ABB s.r.o. [25]

5.6.5 Regulátor jalového výkonu

Automatický regulátor jalového výkonu slouží ve vytvořeném návrhu k řízení kompenzačního výkonu. Po uvažení se vybral automatický regulátor od firmy KMB systems s.r.o. Jedná se o třífázový regulátor typu NOVAR 1414, který je schopen měřit proudy v každé fázi. Je to z toho důvodu, že má ve výbavě tři proudové vstupy na rozdíl od jiných druhů regulátorů. Jeho výhoda spočívá v tom, že je schopen vyhodnotit třífázový účinník, což je veličina, podle které se poté reguluje požadovaný kompenzační výkon. Pak také obsahuje jen jeden napěťový vstup, což znamená, že je schopen změřit

napětí jenom v jedné fázi. Další jeho důležité parametry byly již vysvětleny v podkapitole „5.2.1 Popis určitých parametrů daného regulátoru NOVAR 1414“. [18]

Rozvodnu R2 je možné napájet z kobek, které se značí č. 2, 3, 4, 30 a 31. Aby se správně prováděla kompenzace dané rozvodny, tak je nutné měřit proudy na dvou vybraných měřicích místech, které se následně sečtou pomocí součtového transformátoru. Proudů se mohou změřit pomocí dosavadních měřicích transformátorů proudu, které se v rozvodně R2 nacházejí.



Obrázek 62: Regulátor jalového výkonu NOVAR 1414 od výrobce KMB systems s.r.o. [18]

5.6.6 Rychlovybíjecí zařízení

Rychlovybíjecí zařízení se hlavně uplatní v provozech, ve kterých se zatížení dynamicky mění. Je schopen totiž zmenšit napětí na kompenzačním kondenzátoru mnohem rychleji, než jak to umožňují vestavěné vybíjecí odpory, které se většinou v kondenzátorech nacházejí. Jestliže v kompenzačním stupni není rychlovybíjecí zařízení, tak je možné jeho další zapnutí až po uplynulých pěti minutách. V rozvodně R2 je ale nutné spínat kompenzační stupně mnohem rychleji, takže proto se v návrhu dané rychlovybíjecí zařízení využijí. [19]

V návrhu kompenzace se jako rychlovybíjecí zařízení užijí dvě vybíjecí tlumivky, které se zapojí do tzv. „V“. Tyto vybíjecí tlumivky budou připojeny na svorky kompenzační baterie, což lze vidět na schématu navrženého kompenzačního rozvaděče, který je zobrazený v příloze s označením A. [13]

5.6.7 Kompenzační rozvaděč VN

Pro návrh kompenzace byl zvolen kompenzační rozvaděč VN od výrobce ZEZ SILKO, s.r.o. V současnosti vyrábí zmíněná firma tři odlišné typy kompenzačních rozvaděčů VN. Jedná se o rozvaděče s označením SCA, ACB a SCB. [26]

Pro vytvořený návrh se vybral kompenzační rozvaděč typu ACB, který je možné použít v průmyslových sítích až do napětí 36 kV. Tento typ rozvaděč se využívá pro skupinovou nebo centrální kompenzaci, ve které je nutné řídit kompenzační výkon pomocí mikroprocesorového regulátoru. Realizuje se v oceloplechové skříni, což je zobrazeno na obrázku č. 63. Výše vybrané komponenty budou umístěny do daného kompenzačního rozvaděče, který bude navrhovaný na jmenovité napětí 6,3 kV. [26]



Obrázek 63: Příklad kompenzačního rozvaděče VN od výrobce ZEZ SILKO, s.r.o. [27]

V tabulce č. 9 jsou popsány jednotlivé údaje o navrhnutém kompenzačním rozvaděči VN.

Tabulka 9: Údaje navrhnutého kompenzačního rozvaděče VN.

Napěťová soustava	3 PE AC 50 Hz 6,3 kV/IT
Počet kompenzačních stupňů	6
Instalovaný výkon	4,5 Mvar
Kompenzační výkon	3,7 Mvar
Jmenovitý proud	509 A
Kondenzátory VN	CPEFS 7,2 kV
Hradící tlumivky VN	$p = 7 \%$, $f_r = 189 \text{ Hz}$
Stykače VN	V-Contact VSC7
Pojistky VN	CEF 7,2 kV
Regulátor jalového výkonu	NOVAR 1414
Stupeň krytí	IP40
Teplota prostředí (vnitřní realizace)	-5 °C až +40 °C

Celkově se navržený kompenzační rozvaděč bude skládat z jednoho pole přívodního a z šesti polí kompenzačních. Každý kompenzační stupeň bude obsahovat LC obvod, který bude naladěný na rezonanční frekvenci 189 Hz, což znamená, že činitel zatlumení bude 7 %. Každý tento stupeň bude spínán vakuovým stykačem a jištěn výkonovou pojistkou. Do přívodního pole kompenzačního rozvaděče bude zapojen přívodní kabel VN. Tohle pole bude dále obsahovat odpojovač a jistící, spínací, signalizační prvky. Kompenzační výkon bude řízen pomocí mikroprocesorového automatického

regulátoru NOVAR 1414. Také je optimální doplnit kompenzační rozvaděč určitým systémem, který bude sledovat bezporuchový stav rozvaděče a v případě vzniku poruchy ji signalizovat. Dále je také vhodné vybavit rozvaděč systémem, který bude kontrolovat stav pojistek. [26]

5.6.7.1 Výkonový vypínač a ochrana kompenzačního rozvaděče VN

Z hlediska toho, že rozvodna R2 obsahuje dost rezervních kobek, které nejsou nikterak využity, tak lze jednu z těchto kobek užít ke spínání navrženého kompenzačního rozvaděče a přívodního kabelu VN. Použije se tedy výkonový vypínač VN, který bude schopen vypnout celý kompenzační rozvaděč. Také bude potřebné využít odpojovače, aby bylo možné vizuálně vidět, že se vývod fyzicky odpojil. Mohou být tedy použity dosavadní přípojnícové odpojovače, které se nacházejí ve zmíněných volných kobkách.



Obrázek 64: Výkonový vypínač LF SF6 od výrobce Schneider Electric. [28]

Po uvážení byl vybrán výkonový vypínač VN od výrobce Schneider Electric. Jedná se o vypínač typu LF s plynem SF6 (fluorid sírový) v pevném provedení, který je určený pro spínání průmyslových sítí s kapacitní nebo indukční zátěží. Zvolený výkonový vypínač je dimenzovaný pro jmenovité napětí $U_N = 7,2 \text{ kV}$, jmenovitý proud $I_N = 630 \text{ A}$ a jmenovitý zkratový proud $I_K'' = 50 \text{ kA}$. [28] [29]

Dále byla nutná ochrana proti možným přepětím, podpětím, nadproudům, zemním poruchám atd. Vybrala se proto ochrana Sepam S41, kterou vyrábí opět společnost Schneider Electric. Jedná se o digitální ochranu, která má 4 proudové vstupy a 3 napěťové vstupy. [30]

5.6.8 Další ochranné prostředky

U kondenzátorových baterií se ještě navýší stupeň ochrany pomocí přetlakových pojistek, které slouží k ochraně kondenzátorových baterií proti přetížení. Také je nutné zlepšit ochranu hradicích tlumivek. Z toho důvodu se tlumivky opatří teplotními čidly, které se umístí v jejich vinutích. Zmíněné teplotní čidlo je v sériovém spojení s ovládací cívkou vakuového stykače. V případě, že dojde k přesáhnutí dovoleného oteplení, tak dochází k odpojení kompenzačního stupně. Tím se zajistí, že je tlumivka ochráněna proti nadměrnému přehřátí. [17] [31]

6 Závěrečné ekonomické a technické zhodnocení

Hlavní dodavatel elektrické energie do kompenzované rozvodny R2 je společnost, která se nazývá Energetika Třinec, a.s. Do rozvodny R2 je v současnosti zapojený řízený kompenzační rozvaděč o hodnotě jalového výkonu 2,4 Mvar. Na základě výsledných hodnot z měření se potvrdilo, že stávající kompenzační rozvaděč není schopen pokrýt celou potřebu jalového výkonu nutnou pro správný chod rozvodny R2. To byl hlavní důvod, proč se navrhl nový kompenzační rozvaděč, protože pomocí něho se výrazně zlepšil účinník v dané rozvodně.

Z výsledného naměřeného průběhu činného výkonu, který se měřil s připojeným původním kompenzačním rozvaděčem, vyšla průměrná hodnota odebíraného činného výkonu $P = 1,71$ MW při průměrné velikosti účinníku $\cos\varphi = 0,72$. Z toho plyne, že pro dosažení vyžadované hodnoty účinníku $\cos\varphi_k = 0,95$ je třeba dodat pomocí kompenzačního rozvaděče průměrnou hodnotu jalového výkonu $Q_c = 1,1$ Mvar. Tím, že se v návrhu použily kompenzační stupně s tlumivkami, tak ztráty dosahují nízkých hodnot v rozmezí 5,5 až 7 W/kvar.

Důležitou informací je celková investiční cena navrženého kompenzačního rozvaděče. Bylo proto nutné provést analýzu trhu pro zjištění jednotlivých cen použitých komponentů pro daný návrh. Do výsledné ceny je třeba zahrnout i další přidané komponenty jako například výkonový vypínač VN, regulátor jalového výkonu, signalizační zařízení, rychlovybíjecí zařízení atd. Celková odhadovaná cena investičních nákladů na vytvořený návrh kompenzace se stanovila na hodnotu kolem 3,2 milionu korun. Jako případní dodavatele jednotlivých zvolených komponentů se mohou využít například tyto firmy, které se nazývají ZÁVODNÝ ELEKTRO s.r.o., ZEZ SILKO s.r.o. nebo EMCOS s.r.o.

Dále jsou podstatné provozní náklady na údržbu vytvořeného kompenzačního rozvaděče. Na co je třeba se zaměřit jsou hlavně vakuové stykače, které se budou muset po určité provozní době nechat opravit. Podle zkušenosti z praxe lze zjistit, že stykače se většinou poprvé opravují až po 250 tisících provedených spínacích cyklech. Podle katalogu mechanická životnost vakuových stykačů činí až 1 milion spínacích cyklů. U kompenzačních kondenzátorů se udává životnost při normálních provozních podmínkách na více jak 150 tisíc hodin.

Pro vytvořený návrh kompenzace se nabízelo ještě další možné řešení, které by bylo technicky přijatelnější, protože by se odstranily některé nevýhody, jenž způsobuje kontaktní spínání. Tyto nevýhody kontaktního spínání byly již vysvětleny v podkapitole „3.2.1.1 Kontaktní kompenzátory“. Tohle řešení by mělo ale za následek zvýšení investičních nákladů.

Při navrhování kompenzace je vždy potřeba myslet na finanční možnosti investora a podle toho se při navrhování také řídit. Dále je nutné vždy navrhnout takovou kompenzaci, která zajistí, že vzniklé úspory budou vždy vyšší než celkové investiční náklady potřebné pro její realizaci.

Závěr

Hlavním cílem této diplomové práce bylo navrhnout novou řízenou kompenzací pro rozvodnu R2, která zajistí zlepšenou hodnotu účinníku na požadovanou velikost. Při vypracování této práce se kladlo velký důraz na její pravopisnou a odbornou správnost. Snahou ji bylo vytvořit takovým způsobem, aby byla pro budoucího čtenáře co nejsrozumitelnější a také co nejprehlednější. Zmíněná rozvodna se vyskytuje v Třineckých železárnách a slouží pro napájení válcovny předvalků a hrubých profilů. Tento nový návrh se vyžadoval zejména z toho důvodu, že stávající kompenzační rozvaděč, který je v současnosti zapojený v dané rozvodně, není schopen pokrýt celou potřebu jalového výkonu nutnou pro správný chod rozvodny R2, což bylo také potvrzeno provedeným měřením.

Postupným řešením dané problematiky, se čím dal tím více získávaly nové poznatky a zkušenosti týkající se daného tématu, které byly následně využity při výběru vhodného způsobu kompenzace pro rozvodnu R2.

Pro optimální návrh kompenzačního zařízení bylo nutné mít k dispozici informace o parametrech týkajících se dané rozvodny R2. Proto bylo provedeno měření na zmíněné rozvodně. Měření probíhalo tak, že se změřily hodnoty na třech přírodních napájecích kobkách, které byly k rozvodně R2 připojeny paralelně. Nejdříve se během třech dnů změřily hodnoty při odstavení původního kompenzačního rozvaděče a poté se během dalších třech dnů naměřily hodnoty se zapojeným stávajícím kompenzačním rozvaděčem. Poté se všechny naměřené hodnoty, které se získaly v těchto třech přírodních kobkách, paralelně sečetly dohromady, čímž se dosáhly potřebné výsledné hodnoty, které tvořily základní podklady pro navrhnutí nového kompenzačního zařízení. Nový návrh kompenzace se projektoval ve stavu, kdy byl původní řízený kompenzační rozvaděč v rozvodně R2 připojený. Z toho vyplynula nutnost navrhnout takovou řízenou kompenzací pomocí které by se zajistilo pokrytí zbývajících potřebného kompenzačního výkonu, který byl žádoucí pro optimální provoz rozvodny R2.

Při navrhování kompenzace bylo důležité se rozhodnout jaký typ kompenzačního prostředku se pro danou rozvodnu použije. Při vybírání bylo důležité pamatovat hlavně na finanční možnosti investora a také na informace, které se týkaly provozu zmíněné rozvodny. S přihlédnutím na tyto hlediska se jako vyhovující zvolily statické kompenzátory, které jsou ve srovnání s aktivními filtry mnohem levnější a také dosahují nižší činné ztráty než rotační kompenzátory. Následně bylo důležité vybrat typ statického kompenzátoru. Jako vyhovující byla zvolena chráněná kompenzační sekce. Kompenzační filtr nebyl vybrán z finančního důvodu, protože je výrazně dražší než ostatní zmíněné statické kompenzátory. Dále bylo potřebné zvolit vhodný způsob řízení těchto statických kompenzátorů. Protože se v rozvodně R2 požadovalo pouze kompenzování jalového výkonu, tak bylo postačující zvolit stupňovitě spínané ovládání, které se vybralo v kontaktním provedení. Bezkontaktní provedení se nepoužilo kvůli ceně, která dosahovala výrazně vyšší hodnotu než u kontaktního spínání. Pro rozvodnu R2 se tedy nakonec projektovala stupňovitě řízená hrazená kompenzace.

Během určování kompenzačních výkonů u jednotlivých spínaných stupňů bylo nutné popřemýšlet nad celou řešenou problematikou. Bylo to hlavně proto, že samotný vytvořený návrh kompenzace nevychází z obvyklého postupu, ale řeší se na základě praktických zkušeností. Protože se kompenzační výkon v tomto návrhu ovládá stupňovitě, tak se zde využilo váhového rozdělení

vyžadovaného kompenzačního výkonu pro jednotlivé spínané stupně. Při určování celkového počtu kompenzačních stupňů a jejich jednotlivých velikosti se bral ohled hlavně na maximální kompenzační výkon, který byl potřeba do zmíněné rozvodny dodat a také na vyžadovanou hodnotu účinníku, kterou bylo nutné daným vykompenzováním dosáhnout. Velmi důležité bylo v návrhu také stanovení hodnoty výkonu u nejmenšího spínaného stupně. Bylo totiž třeba brát zřetel na pravidlo, které říká, že nelze vykompenzovat hodnotu jalového výkonu, jehož hodnota je nižší, než je velikost jalového výkonu u nejmenšího kompenzačního stupně. Nakonec se pro první kompenzační stupeň vybral výkon s hodnotou 250 kvar. Výkony ostatních kompenzačních stupňů se určily jako jeho násobky. Celkově se navrhlo šest kompenzačních stupňů s váhou spínání 1:2:3:4:4:4. To znamenalo, že výsledný instalovaný jalový výkon kompenzačního rozvaděče měl hodnotu 4,5 Mvar. Dále je zde podstatné, že se v tomto návrhu nedimenzoval kompenzační rozvaděč na maximální hodnotu požadovaného jalového výkonu. Je to z toho důvodu, že kdyby se navrhl kompenzační rozvaděč na takovou velikost výkonu, tak cena takového návrhu by vzrostla příliš na vysokou hodnotu, což by pro většinu investorů bylo nepřijatelné. Proto se v tomto návrhu zvolil určitý kompromis, kdy se vybral takový kompenzační výkon, který zajistil jednak dostatečnou kompenzaci pro většinu odběrů v rozvodně R2 a jednak zajistil přijatelnou cenu vytvořeného návrhu. Bylo také potřebné počítat s tím, že určité malé procento těch největších výkonových špiček nemělo uskutečněnou požadovanou kompenzaci.

Vlivem předřazení hradicích tlumivek se celkový instalovaný kompenzační výkon snížil z hodnoty 4,5 Mvar na velikost 3,7 Mvar. Jedná se o skutečný kompenzační výkon, jenž je schopný kompenzační rozvaděč v případě potřeby dodat do rozvodny R2. Z důvodu toho, že se v rozvodně R2 nachází provoz, který se dynamicky mění, tak nebyla přesně určena požadovaná hodnota účinníku, kterou by bylo nutno dosáhnout. Kvůli tomu se za správně vykompenzovaný odběr považoval ten odběr, jehož účinník dosahoval hodnot vyskytujících se v rozsahu $\cos\varphi = 0,93 \div 0,97$. Výsledné hodnoty řešení vyšly následovně. Navržený řízený kompenzační rozvaděč je schopen vykompenzovat 89,4 % odběrů s účinníkem vyšším než 0,93. Dalších 3,2 % odběrů vykazuje účinník horší, ale ne nižší než 0,9. U 2,4 % odběrů vyšel účinník, který se vyskytoval v rozsahu účinníku $\cos\varphi = 0,85 \div 0,9$. Zbylých 5 % odběrů dosahovalo účinník, který byl nižší než 0,85. Jednalo se převážně o výkonové špičky, které vyžadovaly výrazně větší kompenzační výkon, než byla schopná navržená řízená kompenzace dodat. Tyto výsledné vypočítané hodnoty ale platí pouze v tom případě, když je v rozvodně R2 připojený původní kompenzační rozvaděč. V případě jeho odstavení nebude nově navržený kompenzační rozvaděč schopen tyto vypočítané hodnoty dosáhnout.

Pro zjištění investiční náročnosti vytvořeného návrhu kompenzace byla provedena analýza trhu, ve kterém se postupně zjistily ceny jednotlivých vybraných komponentů. Výsledná odhadovaná cena investičních nákladů na vytvořený návrh se stanovila na hodnotu kolem 3,2 milionu korun.

V dnešní době neustále roste cena za elektrickou energii. Momentálně je nutno zaplatit 4,83 Kč za 1 kWh elektřiny. Tohle má za následek, že čím dal tím více roste také zájem o kompenzování jalového výkonu. Jestliže odběratel elektrické energie bude mít správně provedenou kompenzaci, která zajistí hodnotu účinníku v přijatelných mezích, tak bude oproštěn od finanční přírážky za nedodrženou velikost účinníku, což mu zajistí nemalou ušetřenou částku. Na závěr lze konstatovat, že kompenzace jalového výkonu bude v elektrických sítích neustále podstatnou součástí, která bude výrazně ovlivňovat jak výslednou cenu elektrické energie, tak i její kvalitu.

Použitá literatura

Tištěné zdroje:

- [1] HRADÍLEK, Zdeněk. *Elektroenergetika distribučních a průmyslových zařízení*. Ostrava: Vydala VŠB-TU Ostrava ve vydavatelství Montanex, 2008. ISBN 978-80-7225-291-6.
- [2] PAUZA, Josef. *Silnoproudá rozvodná zařízení v průmyslu*. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1974. Praktické elektrotechnické příručky.
- [3] KRYCHTÁLEK, Zbyněk a Josef PAUZA. *Elektrické stanice*. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1989.
- [4] SANTARIUS, Pavel. *Elektrické stanice a vedení*. Ostrava: VŠB-Technická univerzita, 1990.
- [5] FENCL, František. *Elektrický rozvod a rozvodná zařízení*. Vyd. 3. přeprac. Praha: Vydavatelství ČVUT, 2003. ISBN 80-01-02771-6.
- [6] KORENC, Vladimír a Jiří HOLOUBEK. *Kompenzace jalového výkonu v praxi*. Praha: IN-EL, 1999. Knižnice Elektro. ISBN 80-86230-07-4.
- [7] ČSN EN 61000-2-4. *Elektromagnetická kompatibilita (EMC). Část 2-4: Prostředí - Kompatibilní úroveň pro nízkofrekvenční rušení šířené vedením v průmyslových závodech*. 2003. Praha: ČESKÝ NORMALIZAČNÍ INSTITUT.

Elektronické zdroje:

- [8] GURECKÝ, doc. Dr. Ing. Jiří. *Materiály pro výuku předmětu Projektování elektrických distribučních sítí* [online]. [cit. 2021-4-26]. Dostupné z: http://fei1.vsb.cz/kat410/studium/studijni_materialy/projektovani_elektrickych_distribucnich_siti.htm
- [9] GURECKÝ, doc. Dr. Ing. Jiří. *Materiály pro výuku předmětu Přenos a rozvod elektrické energie* [online]. [cit. 2021-4-26]. Dostupné z: http://fei1.vsb.cz/kat410/studium/studijni_materialy/prenos_a_rozvod_elektricke_energie.htm
- [10] *ELEKTRICKÉ ROZVODY V PRŮMYSLVÝCH OBJEKTECH* [online]. [cit. 2021-4-26]. Dostupné z: https://www.sse-najizdarne.cz/dokumenty/studijni_materialy/el_roz_prum.pdf
- [11] ONDŘÍK, Ing. Jiří a Ing. Roman SMÉKAL. Inteligentní analyzátor elektrických sítí QUALISTAR – C.A 8334. *ELEKTRO časopis pro elektrotechniku* [online]. Praha: FCC PUBLIC, 2014 - 2021 [cit. 2021-4-26]. Dostupné z: <http://www.odbornecasopisy.cz/elektro/casopis/tema/inteligentni-analyzator-elektrickych-siti-qualistar-c-a-8334--14795>
- [12] C.A 8334 - Třífázový analyzátor elektrických sítí. *GHV Trading* [online]. 1991 - 2021 [cit. 2021-4-26]. Dostupné z: <https://www.ghvtrading.cz/merici-pristroje/analyzatory/ca8334.html>
- [13] MARALÍK, Bc. Robin. *Návrh řízené kompenzace rozvodny 6 kV pro napájení válcovny kolejnic* [online]. Ostrava, 2012 [cit. 2021-4-26]. Dostupné z: https://dspace.vsb.cz/bitstream/handle/10084/93047/MAR912_FEI_N2649_3907T001_2012.p

df?sequence=1&isAllowed=y. Diplomová práce. VŠB - Technická univerzita Ostrava. Vedoucí práce Doc. Dr. Ing. Jiří Gurecký.

- [14] PROCHÁZKA, Ing. Radek. Požadavky na elektrický silnoproudý rozvod. *Tzbinfo* [online]. 2007 [cit. 2021-4-26]. Dostupné z: <https://elektro.tzb-info.cz/3980-pozadavky-na-elektricky-silnoproud-ry-rozvod>
- [15] KOCMAN, Doc. Ing. Stanislav Ph.D. *KVALITA NAPĚTÍ* [online]. 2011. Ostrava [cit. 2021-4-26]. Dostupné z: http://fei1.vsb.cz/kat420/vyuka/FEI/EMC/sylaby/11_Kvalita_napeti.pdf
- [16] E.ON. Odchyłka napětí. *Profi Elektriķa* [online]. 1998 - 2021 [cit. 2021-4-26]. Dostupné z: <https://elektriķa.cz/terminolog/eterminologitem.2005-05-23.3871390371>
- [17] Kompenzační tlumivky. *Rap Energo* [online]. [cit. 2021-4-26]. Dostupné z: <http://www.rapenergo.cz/kompence-uciniku/kompenceacni-tlumivky>
- [18] Třířázový NOVAR 1414. *KMB SYSTEMS* [online]. 2011 [cit. 2021-4-26]. Dostupné z: <http://www.kmb.cz/index.php/cs/regulatory-ucinniku/novar-1414>
- [19] HOLOUBEK, Ing. Jiří a Ing. Jaroslav PAWLAS. Stupňovitě spínaná kompenzační zařízení vn. *Elektro časopis pro elektrotechniku* [online]. Praha: FCC Public, 2014 - 2021 [cit. 2021-4-26]. Dostupné z: <http://www.odbornecasopisy.cz/elektro/casopis/tema/stupnovite-spinana-kompenceacni-zarizeni-vn--14090>
- [20] ČECH, Bc. Filip. *Kompence jalové energie v sítích nn a vn* [online]. Ostrava, 2019 [cit. 2021-4-26]. Dostupné z: https://dSPACE.vsb.cz/bitstream/handle/10084/136248/CEC0120_FEI_B2649_3907R001_2019.pdf?sequence=1&isAllowed=y. Bakalářská práce. VŠB - Technická univerzita Ostrava. Vedoucí práce Doc. Dr. Ing. Jiří Gurecký.
- [21] Prvky VN kompenzace. *NAVARIS* [online]. Brno, 2007 [cit. 2021-4-26]. Dostupné z: <http://www.navaris.cz/produkty/sortiment-pristroju/prvky-vn-kompence>
- [22] Kompenzační kondenzátory VN. *ZEZ SILKO* [online]. Žamberk [cit. 2021-4-26]. Dostupné z: <https://www.zez-silko.cz/data/uploadHTML/files/ke-stazeni-katalogy-pfc-vn/kondenzatory-vn.pdf>
- [23] Hradící tlumivky VN. *ZEZ SILKO* [online]. Žamberk [cit. 2021-4-26]. Dostupné z: <https://www.zez-silko.cz/data/uploadHTML/files/ke-stazeni-katalogy-pfc-vn/tlumivky-vn.pdf>
- [24] V-Contact VSC Vakuový stykač VN. *ABB* [online]. Brno, 2006 [cit. 2021-4-26]. Dostupné z: http://www.elisch.cz/wp-content/uploads/2015/07/vakuove_stykae_katalog.pdf
- [25] Pojistky VN. *ABB* [online]. Przasnysz, 2020 [cit. 2021-4-26]. Dostupné z: <https://search.abb.com/library/Download.aspx?DocumentID=2401PL1613-W1-en&LanguageCode=en&DocumentPartId=&Action=Launch>
- [26] Kompenzační rozvaděče. *ZEZ SILKO* [online]. Žamberk, 2020 [cit. 2021-4-26]. Dostupné z: https://www.zez-silko.cz/data/uploadHTML/files/ke-stazeni-katalogy/kompenceacni-rozvadec-rozvodny-capacitor_banks.pdf

- [27] Kompenzace jalové energie. *ZEZ SILKO* [online]. Žamberk, 2020 [cit. 2021-4-26]. Dostupné z: <https://www.zez-silko.cz/data/uploadHTML/files/ke-stazeni-katalogy/ZEZSILKO-KATALOG-KOMPENZACE-CZ.pdf>
- [28] LF VN vypínač. *Schneider Electric* [online]. 2021 [cit. 2021-4-26]. Dostupné z: <https://www.se.com/cz/cs/product-range-presentation/951-lf/?parent-subcategory-id=87889&filter=business-6-vn-distribuce-a-automatizace-el.-siti#tabs-top>
- [29] LF SF6 Circuit breaker. *Schneider Electric* [online]. Rueil-Malmaison, 2018 [cit. 2021-4-26]. Dostupné z: https://download.schneider-electric.com/files?p_enDocType=Catalog&p_File_Name=LF_AMTED397052EN_0706.pdf&p_Doc_Ref=AMTED397052EN
- [30] SEPAM 40. *Schneider Electric* [online]. Praha, 2008 [cit. 2021-4-26]. Dostupné z: https://download.schneider-electric.com/files?p_enDocType=User+guide&p_File_Name=S692.pdf&p_Doc_Ref=S692
- [31] Kompenzační kondenzátory a hradící tlumivky. *ElektroPrůmysl* [online]. Hajany, 2012 [cit. 2021-4-26]. Dostupné z: <https://www.elektroprumysl.cz/casopis/2012/duben/22/>
- [32] Historie Třineckých železáren. *Třinecké železářny* [online]. Třinec, 2021 [cit. 2021-4-26]. Dostupné z: <https://www.trz.cz/clanky/8/historie>

Seznam obrázku

Obrázek 1: Schéma paprskové sítě. [5]	16
Obrázek 2: Schéma průběžné sítě. [5]	17
Obrázek 3: Schéma okružní sítě. [5]	17
Obrázek 4: Schéma hřebenové sítě. [5]	18
Obrázek 5: Schéma mřížové sítě. [5]	18
Obrázek 6: Schéma dvojpaprskové sítě. [5].....	19
Obrázek 7: Schéma spínací stanice. [3]	20
Obrázek 8: Schéma transformovny. [3].....	21
Obrázek 9: Schéma usměrňovací stanice. [3].....	22
Obrázek 10: Schéma kompenzační stanice. [3]	23
Obrázek 11: Schéma jednoduchého uspořádání přípojníc s podélným dělením. [4].....	26
Obrázek 12: Schéma jednoduchého uspořádání přípojníc s pomocnou přípojnící. [4].....	26
Obrázek 13: Schéma dvojitého uspořádání přípojníc. [4].....	27
Obrázek 14: Schéma dvojitého uspořádání přípojníc, kde jedna pracuje jako pomocná. [4]	27
Obrázek 15: Schéma dvojitého uspořádání přípojníc s výpomocnou přípojnící. [4].....	28
Obrázek 16: Schéma trojitého uspořádání přípojníc. [4].....	28
Obrázek 17: Schémata okružních přípojníc ve tvaru čtyřúhelníku, kdy vpravo je s rezervním vypínačem a vlevo je bez rezervního vypínače. [4].....	29
Obrázek 18: Schémata bez přípojníc, kde vpravo je pro použití s průběžným vedením a vlevo je pro užití s koncovým vedením. [4].....	30
Obrázek 19: Fázorový diagram kapacitního a induktivního elektrického spotřebiče. [1]	31
Obrázek 20: Závislost synchronního stroje tzv. V-křivky. [9]	33
Obrázek 21: Zapojení paralelního aktivního filtru do průmyslové sítě [9].....	34
Obrázek 22: Zapojení sériového aktivního filtru do průmyslové sítě. [9]	34
Obrázek 23: Zapojení individuální kompenzace. [1].....	35
Obrázek 24: Zapojení skupinové kompenzace. [1]	36
Obrázek 25: Schéma zapojení RLC článku. [9].....	40
Obrázek 26: Kmitočtová charakteristika reaktance kondenzátoru, tlumivky a LC filtru. [9].....	42
Obrázek 27: Schéma zapojení sloužící pro fázové řízení induktivního proudu. [9].....	43
Obrázek 28: Schéma zapojení sloužící pro fázové řízení kapacitního proudu. [9].....	44
Obrázek 29: Průběhy napětí a proudů v závislosti na čase. [9]	44
Obrázek 30: Schéma obvodu zahrnující dekompenzační člen a plynule ovládaný kompenzátor. [9] ...	45
Obrázek 31: Třífázový analyzátor elektrických sítí QUALISTAR – C.A 8334. [12]	47
Obrázek 32: Časový průběh napětí na přívodní kobce č.2.....	49
Obrázek 33: Časový průběh činného výkonu na přívodní kobce č. 2.	50
Obrázek 34: Časový průběh jalového výkonu na přívodní kobce č.2.....	50
Obrázek 35: Časový průběh zdánlivého výkonu na přívodní kobce č.2.	51
Obrázek 36: Časový průběh účinníku na přívodní kobce č.2.....	52
Obrázek 37: Časový průběh napětí na přívodní kobce č.2 s připojenou kompenzací.....	52
Obrázek 38: Časový průběh činného výkonu na přívodní kobce č.2 s připojenou kompenzací.	53
Obrázek 39: Časový průběh jalového výkonu na přívodní kobce č.2 s připojenou kompenzací.	53
Obrázek 40: Časový průběh zdánlivého výkonu na přívodní kobce č.2 s připojenou kompenzací.	54
Obrázek 41: Časový průběh účinníku na přívodní kobce č.2 s připojenou kompenzací.....	54
Obrázek 42: Výsledný časový průběh napětí na rozvodně R2.	55
Obrázek 43: Výsledný časový průběh činného výkonu na rozvodně R2.	56
Obrázek 44: Výsledný časový průběh jalového výkonu na rozvodně R2.	56

Obrázek 45: Výsledný časový průběh zdánlivého výkonu na rozvodně R2.....	57
Obrázek 46: Výsledný časový průběh účinníku na rozvodně R2.	57
Obrázek 47: Výsledný časový průběh napětí na rozvodně R2 s připojenou kompenzací.	58
Obrázek 48: Výsledný časový průběh činného výkonu na rozvodně R2 s připojenou kompenzací.	58
Obrázek 49: Výsledný časový průběh jalového výkonu na rozvodně R2 s připojenou kompenzací.	59
Obrázek 50: Výsledný časový průběh zdánlivého výkonu na rozvodně R2 s připojenou kompenzací...	60
Obrázek 51: Výsledný časový průběh účinníku na rozvodně R2 s připojenou kompenzací.	60
Obrázek 52: Nastavitelný rozsah regulačního pásma.	63
Obrázek 53: Rozsah regulačního pásma o hodnotě $\Delta Q = 200$ kvar.	65
Obrázek 54: Upravený rozsah regulačního pásma o hodnotě $\Delta Q = 200$ kvar pomocí regulátoru.	66
Obrázek 55: Spínání jednotlivých kompenzačních stupňů pro dosažení přijatelného účinníku.	68
Obrázek 56: Schéma hrazené kompenzační sekce.	70
Obrázek 57: Spínání jednotlivých kompenzačních stupňů s předřazenými hradíci tlumivkami.	72
Obrázek 58: Kompenzační kondenzátory od výrobce ZEZ SILKO, s.r.o. [21].....	74
Obrázek 59: Hradící tlumivka VN od výrobce ZEZ SILKO, s.r.o. [23].....	75
Obrázek 60: Vakuový stykač V-Contact VSC7 od výrobce ABB s.r.o. [24]	76
Obrázek 61: Pojistky CEF od výrobce ABB s.r.o. [25].....	77
Obrázek 62: Regulátor jalového výkonu NOVAR 1414 od výrobce KMB systems s.r.o. [18].....	78
Obrázek 63: Příklad kompenzačního rozvaděče VN od výrobce ZEZ SILKO, s.r.o. [27].....	79
Obrázek 64: Výkonový vypínač LF SF6 od výrobce Schneider Electric. [28].....	80

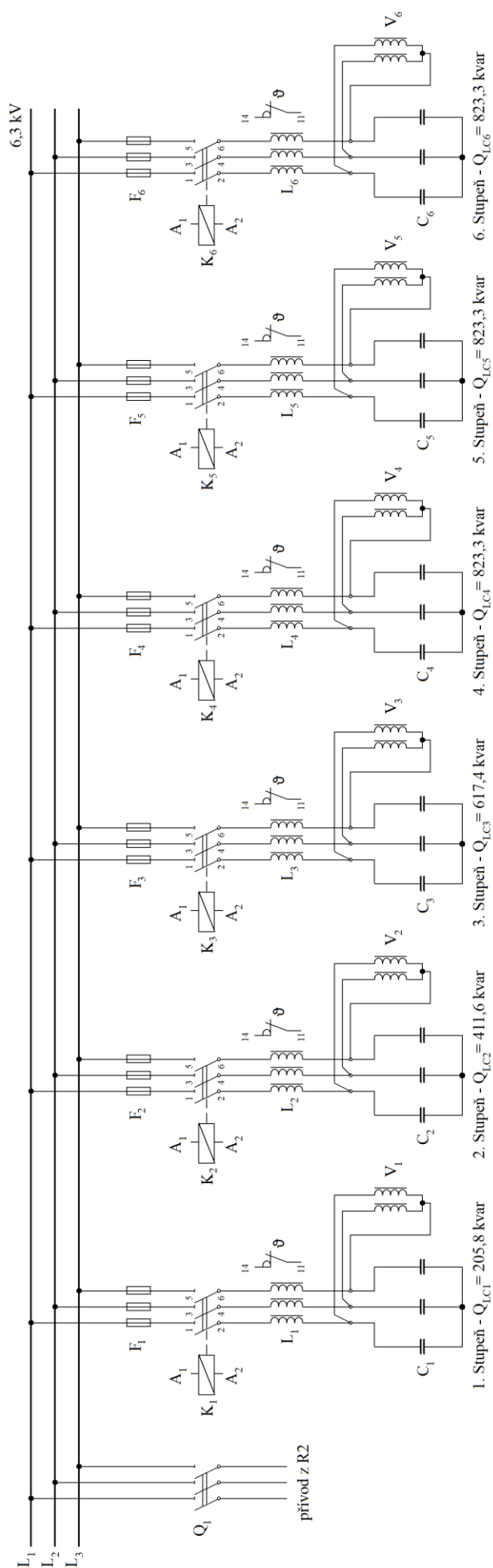
Seznam tabulek

Tabulka 1: Kompatibilní úrovně pro jednotlivé třídy. [7].....	48
Tabulka 2: Informace týkající se odběru jalového výkonu v celém změřeném průběhu při zapojené stávající kompenzace.....	59
Tabulka 3: Informace týkající se odběru činného výkonu v celém změřeném průběhu při zapojené stávající kompenzace.....	65
Tabulka 4: Jednotlivé kompenzační stupně.	67
Tabulka 5: Hlavní parametry jednotlivých kompenzačních stupňů.....	71
Tabulka 6: Hlavní parametry zvolených kompenzačních kondenzátorů VN.	74
Tabulka 7: Hlavní parametry navrhnutých hradících tlumivek VN.....	75
Tabulka 8: Hlavní parametry zvolených pojistek VN.	77
Tabulka 9: Údaje navrhnutého kompenzačního rozvaděče VN.....	79

Seznam příloh

Příloha A: Přehledové schéma kompenzačního rozvaděče.....	89
Příloha B: Přehledové schéma rozvodny R2.....	90

Přehledové schéma kompenzačního rozvaděče



Přehledové schéma rozvodny R2

